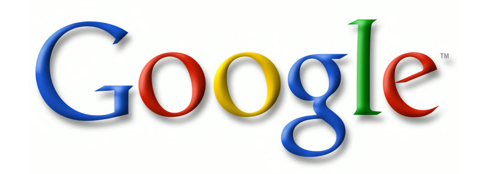


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

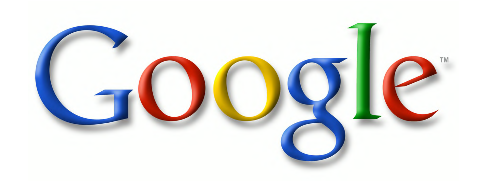
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

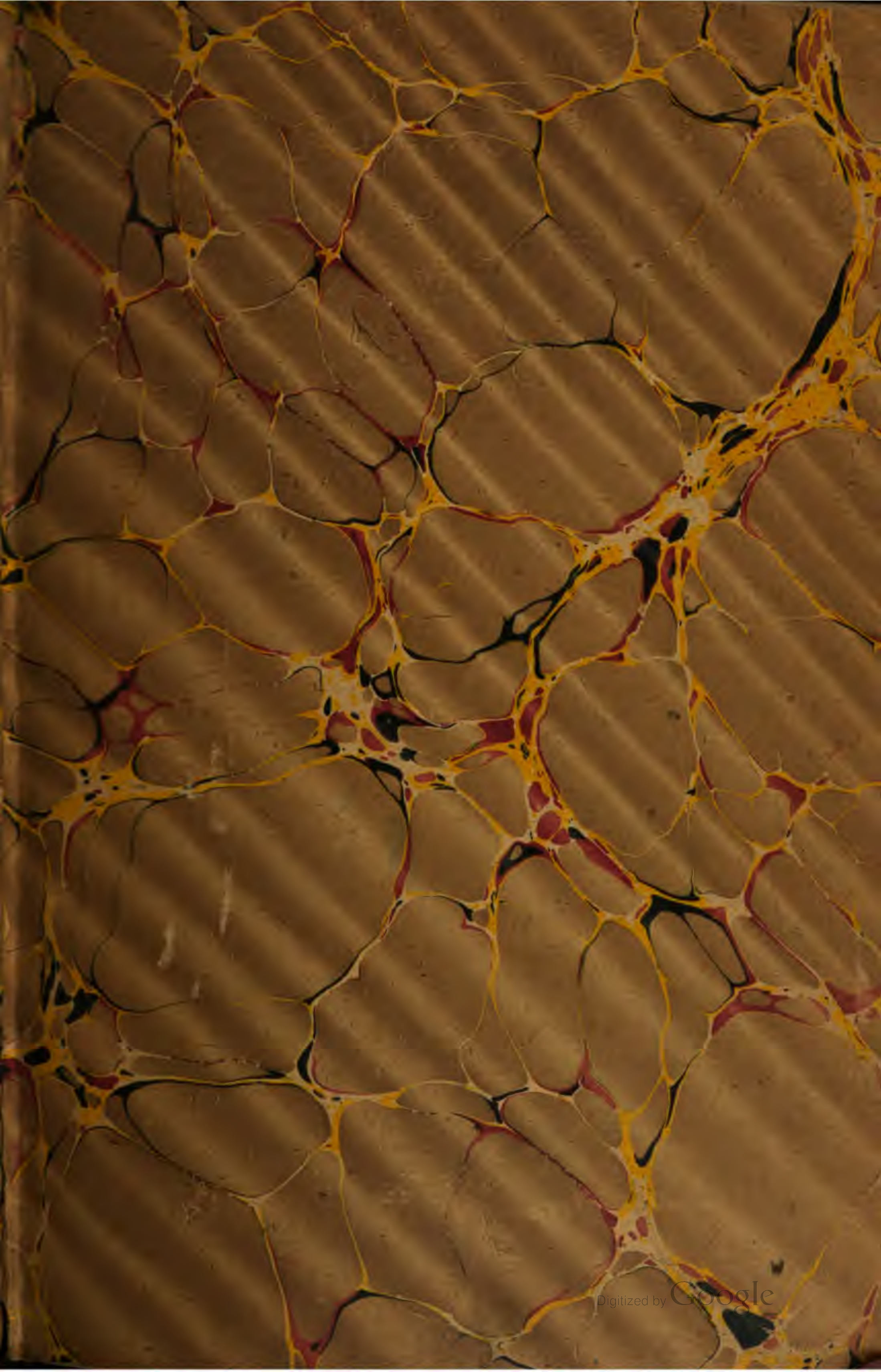
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le frańçais, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



Digitized by Google



Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google

Physics Lib.
QC
1
.S67

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1880.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS

(171 Quai des Augustins, 55.

Digitized by Google

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1880.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

1880

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1880.

PRÉSIDENCE DE MM. BERTHELOT ET MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 décembre 1879 est lu et adopté.

Avant de quitter le fauteuil de la présidence, M. Berthelot, Président sortant, prononce une allocution où il résume les travaux de la Société.

La Société, dit-il, compte aujourd'hui 440 Membres, dont 50 nommés en 1879 : accroissement remarquable et dont il importe de maintenir la progression. Les nouveaux Membres comprennent 19 professeurs dont 4 étrangers, 18 ingénieurs dont 4 étrangers, 3 personnes appartenant à l'armée et les autres appartenant à diverses professions.

Qu'il me soit permis d'en citer quelques-uns : MM. d'Abbadie, l'un des doyens de l'Institut; MM. Mallard et Lechâtelier, professeurs à l'École des Mines. Notre sympathique confrère, M. H. Sainte-Claire Deville, nous a présenté ses deux fils. M. Thollon, qui nous a montré un important instrument s'est associé à nous; enfin, aujourd'hui même, M. le colonel Goulier, qui a observé le premier l'astigmatisme et qui a enrichi la Science de tant de recherches ingénieuses, a demandé à faire partie de la Société.

En même temps qu'elle recevait ces adhésions, la Société a été assez heureuse pour ne perdre aucun de ses Membres en 1879.

409487

Digitized by Google

Parmi les nombreux Mémoires qui lui ont été présentés, je rappellerai les recherches de M. Thollon sur la spectroscopie; le travail de M. Bertin sur les houppes des cristaux polychroïques; la découverte de la polarisation rotatoire magnétique de la lumière dans l'atmosphère terrestre, par M. Henri Becquerel; les recherches de M. Cailletet sur la compressibilité des gaz, celles de M. Kœnig sur la transmission téléphonique; celles de M. Gernez sur la distillation apparente par l'électricité; de M. Bouty sur certains phénomènes qui accompagnent l'électrolyse; de M. Lippmann sur le rôle des écrans magnétiques; les études de M. Cros sur la formation photographique des images colorées au moyen du bromure de potassium mêlé de diverses matières colorantes, etc. M. Cornu nous a présenté son travail sur la partie du spectre ultra-violette; M. Mercadier nous a dit comment on pouvait maintenir constante l'amplitude de la vibration; M. Sebert a montré comment il s'était servi de l'accélérographe de M. Marcel Deprez pour l'étude du problème de l'artillerie; M. Jamin nous a présenté sa nouvelle lampe électrique; MM. Reynier et Napoli, leurs lampes à incandescence; M. Faber, sa machine parlante; M. Marcel Deprez, son nouveau moteur électromagnétique et son ingénieux indicateur des pressions.

J'aurais encore à parler des Communications faites par MM. Mascart, Duter, Mouton, Gouy et d'autres, mais, à mon grand regret, je suis forcé d'arrêter cette énumération pour vous rappeler les noms des savants étrangers dont les travaux ont été présentés à la Société.

Avec les appareils envoyés par M. Mayer, de Hoboken (États-Unis), nous avons pu voir les expériences figuratives des actions moléculaires. M. Bjerknes a manifesté les forces apparentes produites par les vibrations et les pulsations de deux corps plongés dans un liquide. M. Rossetti nous a adressé ses recherches sur la température de l'arc voltaïque. M. Silvanus Thompson nous a montré une nouvelle illusion d'optique. La machine électrique de M. Teploff a fonctionné sous nos yeux et M. Lamansky a prouvé devant nous l'exactitude de la loi de Stokes sur la fluorescence. Enfin, aujourd'hui même, M. Crookes, membre de la Société royale de Londres, va mettre sous nos yeux, avec le concours amical de M. Bouty, ses magnifiques expériences qui semblent

Digitized by Google

ouvrir une ère nouvelle à l'étude de la propagation de l'électricité et aux propriétés des gaz extrêmement raréfiés. Je le remercie, au nom de la Société, d'avoir bien voulu retarder son départ pour nous montrer ses appareils et ses résultats.

Je termine en rappelant que l'état financier de la Société est prospère; le trésorier vous l'exposera dans la prochaine séance. Nous avons l'espoir fondé d'être reconnus prochainement d'utilité publique. La Société est donc en voie de progrès et de développement; c'est à nous tous d'y concourir en recrutant de nouveaux Membres. Quant à moi, il me reste à vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait et à transmettre la présidence à un successeur digne autant que personne de présider la Société.

M. Berthelot cède la présidence à M. Mascart, Président pour l'année 1880. On procède à l'élection du Bureau.

Le Bureau de l'année 1880 se trouve ainsi composé :

M. Mascart, *Président;*
M. Cornu, *Vice-Président;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général;*
M. Lippmann, *Secrétaire;*
M. Dufet, *Vice-Secrétaire;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

Est élu Membre de la Société :

M. Orduna, Ingénieur à Madrid (Espagne).

M. Crookes assiste à la séance et exécute devant la Société ses expériences sur l'étincelle dans les gaz raréfiés, dont M. Bouty donne au fur et à mesure l'explication.

Expériences de M. Crookes sur le passage de l'électricité dans les gaz très raréfiés, présentées par M. Bouty.

Quand on fait passer la décharge d'une bobine d'induction dans un tube contenant un gaz raréfié à la pression de 2^{mm} à 3^{mm} de mercure, par exemple, on aperçoit autour du pôle négatif une ligne

Digitized by Google

brillante qui est séparée de l'électrode par un espace absolument obscur. Ce dernier s'élargit à mesure qu'on pousse plus loin la raréfaction du gaz et peut finir, par exemple, sous une pression de 1 millionième d'atmosphère, par atteindre les parois du tube et en envahir toute l'étendue. C'est dans ces conditions que l'on voit apparaître les effets nouveaux qui ont été étudiés par M. Crookes. Ils consistent essentiellement en phénomènes de phosphorescence, actions mécaniques et calorifiques que nous allons rapidement passer en revue.

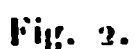
Fig. 1.



Ces phénomènes se produisent à la rencontre des parois du verre ou des corps solides placés à l'intérieur des tubes avec les directions normales à l'électrode négative. Par exemple, si celle-ci reçoit la forme d'un miroir sphérique concave *a'* (*fig.* 1), ces directions forment un cône ayant son sommet au centre de courbure du miroir. Ce point sera un foyer calorifique assez intense

Digitized by Google

pour produire la fusion du verre et même du platine iridié, et la phosphorescence du tube de verre se produira exclusivement à l'intersection du tube avec la deuxième nappe du cône. Il importe peu que l'électrode positive soit placée en face de l'électrode négative ou en tout autre point de la paroi *b*, *c*, *d* : l'apparence lumineuse demeure invariable. Si le gaz avait une pression plus élevée, le jet serait linéaire et réunirait les deux électrodes par une trajectoire courbe, comme on le voit sur le premier ballon de la *fig.* 1. On peut tailler l'électrode négative en cylindre *a* (*fig.* 2); alors


Fig. 2.



le foyer calorifique se développe en une ligne coïncidant avec l'axe du cylindre, et la phosphorescence se produit sur le tube, à partir des points où cette droite le rencontre, et sur le prolongement du faisceau des rayons normaux à la surface de l'électrode.

La phosphorescence développée à la surface du verre est d'une belle couleur verte; cette couleur change, bien entendu, avec la

Digitized by Google

nature des substances phosphorescentes, telles que sulfure de calcium, diamant, rubis naturel ou artificiel, alumine précipitée, etc. La phosphorescence du rubis (*fig.* 3) est d'une belle

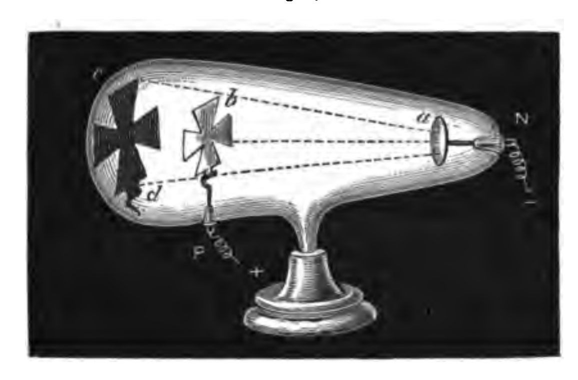
Fig. 3.



couleur rouge de feu; le spectre de la lumière émise n'a présenté qu'une seule raie excessivement intense, correspondant à une longueur d'onde de 689,5 millionièmes de millimètre et coïncidant avec la raie la plus brillante du spectre de l'alumine, sous ses diverses formes, tel qu'il a été décrit par M. Ed. Becquerel, d'après ses expériences faites au phosphoroscope.

Un écran disposé sur les trajectoires normales intercepte la

Fig. 4.



phosphorescence, et le verre demeure obscur derrière lui. Pour faire l'expérience, M. Crookes dispose à l'intérieur de l'un de ses

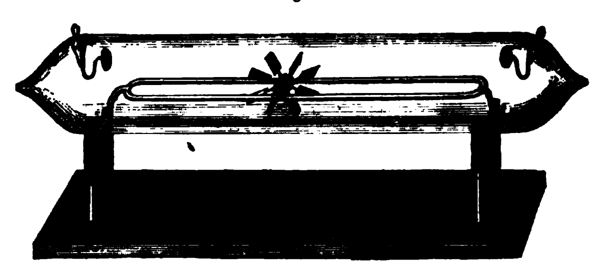
Digitized by Google

tubes (*fig.* 4) une croix *b* en aluminium, supportée entre les deux électrodes par une charnière mobile. Quand on anime le tube, ses parois s'illuminent, et l'on voit l'ombre de la croix se dessiner avec des contours parfaitement nets à la surface du verre en *c*; comme, d'ailleurs, la propriété que possède le verre d'être phosphorescent s'épuise peu à peu, si l'on abat la croix par un mouvement brusque, on voit la place demeurée sombre devenir lumineuse à son tour et se détacher du fond plus pâle qui l'environne, toujours avec un contour nettement défini.

Un moulinet à ailettes (*fig.* 5) de mica très légères, reposant par



Fig. 5.



son axe sur deux rails de verre horizontaux, entre deux électrodes planes, est vivement repoussé par l'électrode négative; il prend un mouvement de rotation rapide, comme si ses ailettes étaient battues par une matière lancée normalement. Quand on change le sens du courant, le moulinet s'arrête et part en sens contraire; il peut même remonter ainsi une pente d'une dizaine de degrés. Un moulinet de radiomètre à ailettes verticales, placé entre les deux électrodes, tourne de même, comme si un choc périodique s'exerçait sur les faces des ailettes tournées vers le pôle négatif.

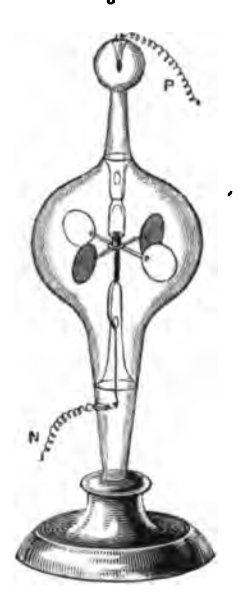
Réciproquement, on peut construire une sorte de radiomètre à ailettes métalliques d'un côté (*fig.* 6), revêtues de mica sur leur face opposée, reposant sur un axe métallique avec lequel elles communiquent électriquement et auquel est attaché le pôle négatif N. L'électrode positive P est à la partie supérieure du tube. Les ailettes prennent un rapide mouvement de recul, inverse du mouvement de rotation que prendrait un moulinet placé en avant de l'électrode négative. Cette expérience et celles qui précèdent ont entre elles la même relation qu'il y a entre le mouvement d'un fluide

Digitized by Google

qui s'écoule et le mouvement inverse d'un vase à réaction ou d'un tourniquet hydraulique.

Pour se rendre compte des faits qui précèdent, M. Crookes imagine que les trajectoires normales sur lesquelles se développent soit la phosphorescence, soit les actions calorifiques ou mécaniques, sont parcourues par des molécules gazeuses lancées avec une grande violence à partir de l'électrode négative. Au degré de raréfaction atteint dans ces expériences, la longueur du chemin moyen d'une molécule entre deux chocs consécutifs contre d'autres

Fig. 6.



molécules gazeuses doit être extrêmement considérable. M. Crookes pense que son étendue est justement celle de l'espace obscur observé autour du pôle négatif, et par suite, dans le cas actuel, au moins égal aux dimensions du tube. Les molécules lancées en ligne droite avec une vitesse égale à la vitesse moyenne caractéristique de la nature du gaz, vitesse à laquelle s'ajoute encore celle que produit la répulsion électrique entre les molécules et l'électrode, viennent heurter les obstacles mécaniques (comme les ailettes des moulinets qu'elles font tourner), et leur force vive, absorbée en totalité ou en partie, se transforme en une force vive égale des ailettes frappées,

Digitized by Google

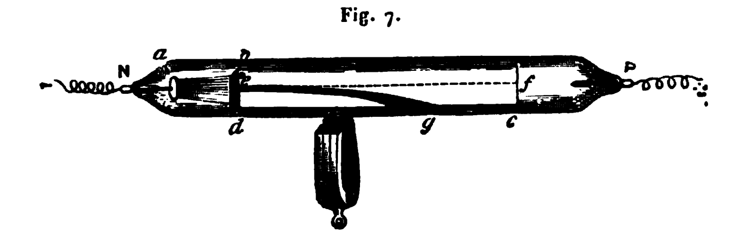
ou en une quantité de chaleur équivalente, comme dans l'expérience de la fusion du platine, ou enfin, dans le cas de la phosphorescence, en force vive lumineuse, d'après des lois qui nous sont encore inconnues.

Cette théorie de la *matière radiante* n'explique pas, il est vrai, la prépondérance de l'électrode négative, laquelle doit être acceptée comme un fait. Il semble d'ailleurs que, en raison même de la hardiesse de ses hypothèses, M. Crookes soit surtout disposé à employer la méthode expérimentale, se préoccupant plutôt pour le moment de grouper le plus grand nombre possible d'expériences nouvelles que de les relier ensemble par un lien trop étroit.

Pour M. Crookes, les files moléculaires qui se meuvent suivant une même trajectoire ne constituent pas, à proprement parler, un courant électrique, et il y a lieu d'étudier expérimentalement l'action exercée sur elles soit par des masses électrisées en repos, soit par des courants ou des aimants; ce serait en quelque sorte une nouvelle électrodynamique et un nouvel électromagnétisme à créer de toutes pièces. Un assez grand nombre d'expériences à ce sujet ont été publiées dans deux Mémoires des *Transactions philosophiques* (¹). Nous n'en indiquerons ici que deux.

En premier lieu, les jets moléculaires de M. Crookes sont sensibles à l'action de l'aimant. On peut dévier le faisceau convergent émané d'une électrode négative en forme de miroir concave et en amener le foyer sur la paroi du verre, qui entre alors en fusion. On peut également limiter, à l'aide d'un écran de mica *bd* (*fig.* 7),

Fig. 7.



dans un jet moléculaire émané d'une électrode plane, un pinceau

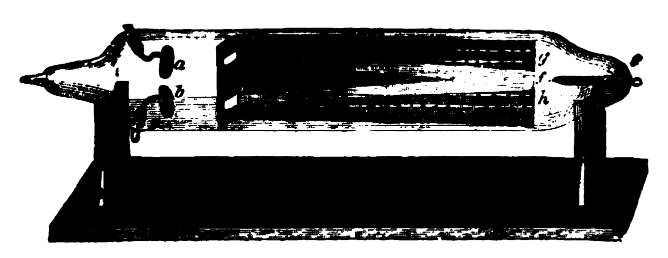
(¹) *On the illumination of lines of molecular pressure and the trajectory of molecules* (*Bakerian lecture*, 1879); *Contributions to molecular Physics in high vacuo* (*Philosophical Transactions*, Part. I et II, 1879).

Digitized by Google

très mince, que l'on rend visible au moyen d'un écran phosphorescent longitudinal. On voit le jet rectiligne *f* se dévier et se courber en *eg* sous l'influence de l'aimant et suivant la position que l'on donne à celui-ci. Cette propriété des jets moléculaires les rapprocherait de courants électriques.

Voici maintenant la seconde expérience. Un tube (*fig.* 8) pré-


Fig. 8.



sente deux électrodes négatives voisines *a* et *b* et une électrode positive *c* à l'autre extrémité. Un écran de mica *de*, percé de deux fentes, limite deux faisceaux étroits qui sont rendus visibles par un écran phosphorescent longitudinal et qui, au lieu de converger vers l'électrode positive en *f*, demeurent sensiblement parallèles en *dg* et *eh* sur toute la longueur de l'écran. Ils se repoussent donc : deux courants angulaires dirigés vers le sommet de leur angle devraient au contraire s'attirer.

Qu'il me soit permis de faire remarquer, en terminant, que M. Crookes n'a pas encore réalisé, par des expériences du genre de celles que nous venons de rappeler en dernier lieu, les conditions véritablement simples qui permettraient d'établir des lois élémentaires analogues à celles qui servent de base à l'électrodynamique, par exemple. L'influence des parois du tube, des écrans limitateurs ou phosphorescents peut intervenir d'une manière qu'il est difficile de faire entrer en ligne de compte, et M. Crookes lui-même, dans l'un de ses Mémoires, établit que les obstacles placés sur ses trajectoires moléculaires sont en général électrisés et qu'ils sont susceptibles, suivant les conditions où on les place, de produire sur ces trajectoires des déflexions variables dont les lois numériques sont encore inconnues.

Digitized by Google

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 janvier est lu et adopté.

Sur la proposition du Conseil :

M. Plateau, membre de l'Académie royale des Sciences de Belgique, est nommé membre honoraire.

Sont élus membres de la Société :

MM. Casalonga, à Paris;
Chaves (Antonio Ribeiro), à Rio-Janeiro (Brésil);
Goulier, colonel du génie, à Paris;
Gower, ingénieur, à Paris;
Haffen, capitaine du génie, à Paris;
Lamon, constructeur d'instruments de Physique, à Genève (Suisse);
Menier (Henri), à Paris;
Orléans (le comte d'), colonel d'état-major en retraite, à Paris;
Teisserenc de Bort (Léon), météorologiste au Bureau central météorologique, à Paris.

M. Schwedoff adresse une Note sur la théorie des sphères pulsantes de M. Bjerknes.

M. Napoli adresse par écrit une réclamation sur le procès-verbal de la séance du 19 décembre 1879. Il insiste sur ce que le frein adopté par lui « dans la lampe Werdermann avait pour but de rendre le contact latéral fonction de la pression en bout, ce qui diffère complètement du frein Reynier dont la fonction consiste, au contraire, à empêcher le charbon de descendre trop vite ».

M. L. Olivier expose à la Société son système électrique destiné à prévenir les accidents sur les voies ferrées. Le chasse-pierres de la locomotive ferme en passant un courant qui traverse un circuit

Digitized by Google

placé le long de la voie; le courant produit l'abaissement d'un drapeau-signal placé en avant du point où le circuit a été fermé; la voie se trouve ainsi couverte et l'arrivée d'un second train à l'encontre du premier devient impossible.

M. Pellat décrit les méthodes qu'il emploie pour mesurer les forces électromotrices des piles et les forces électromotrices de contact des métaux.

Sont élus Membres du Conseil :

Membres résidants.

MM. Janssen,
Sainte-Claire Deville (Henri),
Salet,
Sebert.

Membres non résidants.

MM. Bichat (Nancy),
Govi (Naples),
Gripon (Rennes),
Schwedoff (Odessa).

Observations sur la théorie des sphères pulsantes de M. Bjerknes; par M. Théodore Schwedoff.

Il y a onze ans, au Congrès des savants russes, à Moscou, j'émis pour la première fois l'idée d'une théorie nouvelle de l'électricité, basée sur ce principe :

« Une sphère *pulsante* qui se dilate et se contracte périodiquement se comporte comme une masse électrique ou bien comme un pôle magnétique. »

Un an plus tard, en 1870, je développai le même principe dans une Brochure, écrite en russe, ayant pour titre *Sur les lois de la transformation de la chaleur en électricité*.

Digitized by Google

Dans cette Brochure, j'applique la théorie aux phénomènes suivants : action à distance d'un corps électrisé sur un autre corps électrisé ou non ; électrisation par influence ; électrisation par contact; chaleur dégagée par la décharge d'une batterie électrique; interférence de deux courants de décharge. Plus tard, de 1874 à 1876, j'ai appliqué ma théorie à la distribution des courants dans une lame conductrice. Enfin, guidé toujours par la série des idées qui découlent de cette théorie, je suis arrivé, d'une manière imprévue, à la théorie des formes cométaires, dont je viens de publier les principes et dont le développement détaillé m'a contraint de suspendre mes recherches sur l'électricité.

Pendant que je travaillais, des années se sont écoulées sans que mes idées trouvassent un accueil favorable auprès du monde savant.

Quelles n'ont pas été, après cela, ma surprise et ma satisfaction lorsque j'ai rencontré dans le *Bulletin des Séances de la Société française de Physique* le Mémoire de M. Bjerknes, dont la thèse est qu' « une sphère pulsante qui se contracte et se dilate périodiquement se comporte comme un pôle magnétique ou comme une masse électrique ».

Si je relève ce fait de coïncidence d'idées, ce n'est assurément pas pour réclamer les droits de priorité contre M. Bjerknes : en fait de théories, la justesse des vues a certainement plus de valeur que la date de leur publication. D'ailleurs, il n'y a aucun doute que M. Bjerknes allait son chemin sans se douter de celui que j'ai frayé à côté de lui, car il arrive à des conséquences qui sont diamétralement opposées aux miennes. C'est justement cette dernière circonstance qui m'amène à faire des observations sur sa théorie.

Voici en quoi consiste la divergence des deux théories :

1° M. Bjerknes considère le cas de deux sphères pulsantes plongées dans un fluide *incompressible*.

Je traite le cas d'un fluide élastique, *compressible*.

2° Dans la théorie de M. Bjerknes, « il y a une inversion à faire », du moment qu'on veut la comparer aux faits réels. « Quoiqu'on ait, dit-il, une analogie d'ailleurs complète entre les phénomènes dont on s'occupe et ceux avec lesquels on les compare, le calcul montre une différence essentielle à signaler. Ici il faut généralement admettre que *les pôles* et aussi que *les masses électriques du même*

Digitized by Google

nom s'attirent, que *ceux du nom opposé se repoussent*. En d'autres termes, ce nouveau genre d'électricité et de magnétisme est d'une espèce inverse. »

3° Dans la théorie que j'expose, il s'agit non seulement d'une analogie, mais bien d'une identité entre les conséquences de la théorie et les faits observés. Le calcul ne montre aucune différence à signaler sous ce rapport. Les pôles et aussi les masses du même nom se repoussent, et ceux du nom contraire s'attirent, comme c'est le cas dans la nature.

Le genre d'électricité traité dans ma théorie n'est pas nouveau, mais bien celui que l'on connaît depuis des siècles, de sorte qu'il n'y a aucune inversion à faire quand on veut appliquer la théorie aux phénomènes de la nature.

4° Dans la théorie de M. Bjerknes, « les pôles magnétiques étant de plus équivalents à des masses électriques, on aura encore une action entre les nouveaux aimants et lesdites masses, d'où un électromagnétisme dont on ne connaît pas l'équivalent dans la nature ».

Dans ma théorie, les pôles magnétiques n'étant pas équivalents à des masses électriques, il n'y a ni aimants nouveaux ni électromagnétisme dont on ne connaisse pas d'équivalent dans la nature.

Mesure des forces électromotrices des piles et des forces électromotrices de contact des métaux; par M. H. Pellat.

I.

La méthode que j'emploie pour mesurer la force électromotrice de contact des métaux est intimement liée à celle qui me sert à déterminer la force électromotrice des piles. C'est pour cela que je commencerai par décrire cette dernière méthode, qui, du reste, présente quelques avantages sur celles qui, jusqu'ici, ont été employées dans le même but.

Le principe de la méthode consiste à opposer à l'élément en expérience une force électromotrice variable à volonté par degrés

Digitized by Google

continus et constamment connue par une simple lecture, jusqu'à ce qu'il y ait compensation exacte.

La valeur connue de la force électromotrice compensatrice est alors égale et de signe contraire à celle de l'élément.

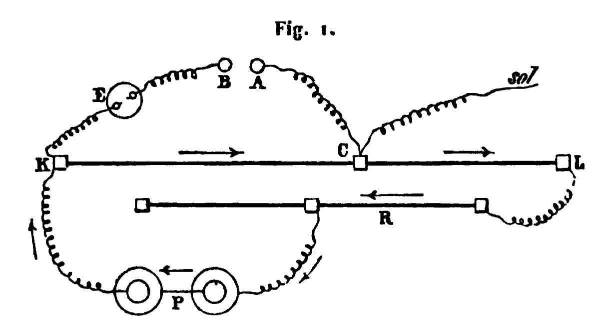
Pour obtenir une force électromotrice variable à volonté et constamment connue, je fais passer un courant constant dans le fil de platine d'un rhéostat de Pouillet ; entre l'extrémité du fil correspondant au zéro de la graduation et le curseur existe une différence de potentiel proportionnelle à la distance qui sépare le curseur du zéro, c'est-à-dire proportionnelle à la lecture de la position du curseur, si le fil présente la même résistance par unité de longueur, ce qui est très facile à réaliser. La borne correspondant au zéro du fil et celle du curseur se comportent alors comme les deux électrodes d'un élément de pile (en circuit ouvert), mais d'une pile dont la force électromotrice est variable à volonté par degrés continus.

Je désignerai cet appareil sous le nom de *compensateur*.

Pour apprécier l'égalité entre les deux forces électromotrices opposées, je me sers de l'électromètre capillaire de M. Lippmann, fonctionnant ici comme électroscope. Cet instrument est d'une sensibilité merveilleuse pour juger de l'égalité entre deux forces électromotrices très voisines, car il permet d'apprécier une différence de potentiel inférieure à $\frac{1}{10000}$ de daniell.

Voici maintenant la disposition expérimentale adoptée. Le curseur C (*fig.* 1) du compensateur KL communique d'une façon per-

Fig. 1.



manente avec le sol et avec l'une des bornes A de l'électromètre capillaire. Le zéro du compensateur K communique avec la seconde borne B de l'électromètre, soit directement, soit par l'intermé-

Digitized by Google

diaire de l'élément E dont on veut mesurer la force électromotrice, soit enfin par l'intermédiaire de 1 élément Latimer-Clark servant d'étalon ($1^{volt},457$).

Ces changements s'opèrent très rapidement à l'aide d'un commutateur qui n'est pas représenté sur la figure.

Le courant est fourni par 2 éléments Daniell grand modèle P et traverse le fil du compensateur KL et le fil d'un rhéostat R qui n'a pas besoin de graduation et dont nous allons voir l'usage.

Pour faire une expérience, on amène le curseur C au zéro K du compensateur; cette extrémité K du fil correspondant directement avec la borne B, les deux bornes A et B de l'électromètre présentent alors une différence de potentiel nulle. On règle la position du microscope de l'électromètre de façon que l'image du ménisque mercuriel soit tangente au fil du réticule oculaire.

L'électromètre étant ainsi réglé, on amène le curseur vers l'extrémité L, vis-à-vis de la division 1000 de la règle ([1]), on oppose en E au compensateur l'élément étalon (Latimer-Clark), et l'on fait varier à l'aide du rhéostat R l'intensité du courant jusqu'à ce que le ménisque mercuriel redevienne tangent au fil du réticule.

La différence de potentiel entre A et B étant nulle de nouveau, la différence de potentiel entre le point o et le point 1000 du fil du compensateur a été rendue juste égale à 1 latimer-clark. Le compensateur est alors réglé. Pour mesurer la force électromotrice de 1 élément, on le substitue en E au latimer-clark et l'on fait courir le curseur jusqu'à ce que le ménisque mercuriel redevienne tangent au fil du réticule. La lecture de la position du curseur donnera en millièmes de latimer-clark la valeur de la force électromotrice de l'élément.

Comme on le voit, à part quelques modifications de détail, cette méthode est celle de du Bois-Reymond, dans laquelle l'électromètre de M. Lippmann remplace le galvanomètre; mais cette substitution présente de sérieux avantages. En premier lieu, le circuit dans lequel se trouve l'élément n'étant jamais fermé, il n'y a aucune crainte de le polariser soit dans un sens, soit dans un autre,

---

([1]) Pendant ces changements, un interrupteur intercepte la communication entre C et A, pour que l'instrument ne soit pas blessé par une trop grande différence de potentiel entre les deux bornes.

Digitized by Google

ce qui arrive presque infailliblement dans toute méthode fondée sur l'emploi d'un galvanomètre.

Les mesures sont très rapides, parce que la colonne mercurielle arrive sans oscillation à sa position d'équilibre; une détermination ne demande pas une demi-minute.

Enfin, la sensibilité de la méthode est indépendante de la résistance de l'élément : j'ai pu mesurer facilement la force électromotrice de piles présentant environ 10 millions d'ohms de résistance et qui ne donnaient aucun courant sensible à un galvanomètre.

Cette sensibilité est du reste très grande; pour de faibles forces électromotrices, elle peut atteindre jusqu'à $\frac{1}{10000}$ de daniell. Pour des forces plus considérables, exigeant une longueur notable du fil du compensateur, la précision atteint encore $\frac{1}{2000}$ de latimer-clark (un demi-millimètre de la règle). Les légères oscillations du courant et le défaut d'homogénéité du fil empêchent d'aller au delà.

II.

La méthode que j'emploie pour mesurer la force électromotrice de contact de deux métaux est, je crois, entièrement nouvelle, et permet d'atteindre une précision supérieure à celle des méthodes usitées jusqu'à présent.

C'est une méthode de compensation.

On sait que, lorsque deux métaux sont réunis par un fil métallique, ils prennent une différence de potentiel égale à celle qu'ils prendraient par leur contact direct. Le fait est évident si le fil est de même nature que l'un des deux métaux; il subsiste encore si le fil est de nature différente, en vertu de la deuxième loi de Volta, fondée sur l'impossibilité d'avoir un courant dans une chaîne fermée, entièrement métallique, dont toutes les soudures sont à la même température.

Appelons (a) cette différence de potentiel, qui est précisément la quantité que nous voulons mesurer; supposons maintenant le fil coupé en un point, et introduisons entre les deux extrémités du fil, précédemment en contact, une différence de potentiel (e) à l'aide du compensateur; il est clair que la différence de potentiel entre les deux métaux deviendra $(a + e)$. Faisons varier (e) jusqu'à ce

Digitized by Google

que $a + e = 0$; on aura alors $a = -e$, ce qui donnera la valeur de la quantité (a), puisque (e) est constamment connu.

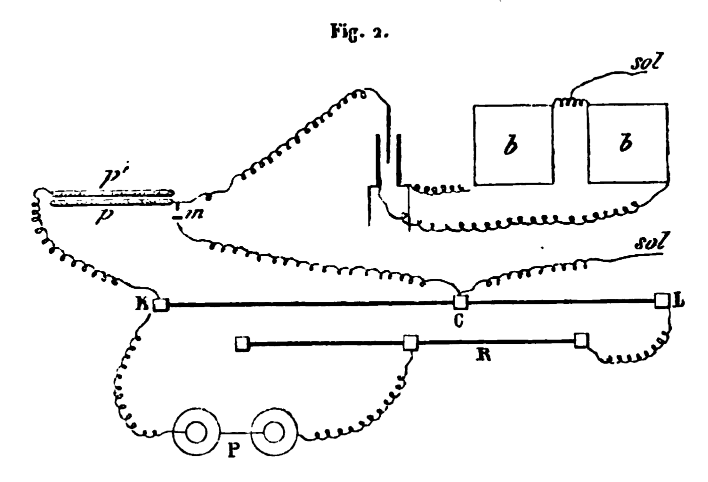
Il me reste à indiquer comment on apprécie l'égalité de potentiel entre les deux métaux.

Pour cela, ceux-ci constituent deux plateaux formant les deux armatures d'un condensateur à lame d'air (ou d'un gaz quelconque) très mince. Tant que les deux plateaux ne seront pas au même potentiel, ils se chargeront d'électricité, et après avoir interrompu les communications, si on les écarte et que l'on mette l'un d'eux en relation avec un électroscope sensible, celui-ci accusera la charge; mais, quand ils auront été amenés au même potentiel, la charge sera nulle et il n'y aura aucune déviation.

Tel est le principe de la méthode; voici maintenant la disposition expérimentale.

Les deux plateaux p et p' (*fig.* 2) sont disposés horizontalement

Fig. 2.



l'un au-dessus de l'autre; tous les deux sont isolés; le plateau supérieur p' est seul mobile et communique d'une façon permanente avec le zéro K du fil du compensateur. Le second plateau p est fixe; il communique d'une façon permanente avec la feuille d'or d'un électromètre de M. Hankel ([1]), fonctionnant ici comme électro-

([1]) Cet électromètre est une modification de celui de Bohnenberger. Il consiste en une feuille d'or suspendue entre deux plateaux attractifs, portés à des potentiels égaux et de signes contraires par les deux pôles d'une batterie *bb* de 100 à 200 élé-

Digitized by Google

scope. Quand les deux plateaux sont rapprochés, le plateau *p* communique avec le curseur du compensateur, par conséquent avec le sol, ou plus exactement avec les écrans électriques qui entourent le système des deux plateaux. Une fraction de seconde avant l'écartement des plateaux, cette communication est interrompue et le plateau *p* ne communique plus qu'avec l'électroscope. Quand le plateau supérieur est abaissé pour recommencer une nouvelle expérience, cette communication se rétablit d'elle-même.

Pour faire une détermination, on amène d'abord le curseur C au zéro K du compensateur; comme il y a une longueur nulle du fil du compensateur comprise entre les extrémités des fils aboutissant aux deux plateaux, ceux-ci se chargent alors en vertu de la différence de potentiel qu'ils prendraient par leur contact direct : si l'on écarte le plateau supérieur, la feuille d'or diverge d'un certain côté.

Recommençons l'expérience après avoir un peu éloigné le curseur du zéro; si le courant passe dans un sens convenable, la différence de potentiel sera diminuée et la feuille d'or divergera moins par l'écartement. On arrive aisément à trouver une position du curseur pour laquelle l'écartement des plateaux laisse la feuille d'or au repos; le curseur, étant un peu au delà ou un peu en deçà de cette position d'écartement, détermine une déviation de sens contraire.

D'après ce que nous avons vu, la lecture de cette position du curseur donnera immédiatement en millièmes de latimer-clark la valeur de la force électromotrice de contact des métaux qui constituent les deux plateaux.

Le tâtonnement régulier que nécessite chaque détermination a la plus grande analogie avec celui d'une pesée précise, sauf qu'il exige beaucoup moins de temps.

On juge par l'opération même de la précision de la mesure, et, si elle n'est pas suffisante, il n'y a qu'à augmenter la sensibilité de l'électroscope ou à rapprocher davantage les plateaux. Cette précision peut atteindre $\frac{1}{1000}$ de latimer-clark.

---

ments Volta, dont l'élément du milieu communique avec le sol. La tranche de la feuille d'or est regardée avec un microscope portant un micromètre oculaire. L'écartement des plateaux règle la sensibilité de l'électromètre, qui peut être accrue indéfiniment.


Digitized by Google

Comme on le voit, l'exactitude d'une mesure est indépendante : 1° de la sensibilité de l'électroscope, 2° de la force condensante du condensateur formé par les deux plateaux, par conséquent indépendante de leur distance, soit dans la position rapprochée, soit dans la position éloignée, indépendante de la constante diélectrique du gaz interposé.

Jusqu'ici toutes les déterminations de forces électromotrices de contact, étant faites en mesurant une charge électrique, dépendaient de la sensibilité de l'électromètre et de la force condensante; or il est très difficile de rendre suffisamment constantes ces deux quantités, même pour deux mesures consécutives.

III.

Les mesures électroscopiques sont les seules [1] capables de déterminer les forces électromotrices de contact; mais répondent-elles bien au but qu'on se propose ? C'est ce qu'il est bon d'examiner.

Dans toutes ces mesures, quelle que soit la disposition expérimentale adoptée, on se sert d'un condensateur formé par les métaux à étudier, séparés par une lame isolante généralement gazeuse. Ce qu'on mesure au juste est la différence de potentiel que prennent les *armatures* de ce condensateur quand les métaux sont rejoints métalliquement; en particulier, dans la méthode qui vient d'être exposée, c'est cette quantité que l'on compense. Or, est-ce bien là la différence de potentiel des métaux ? Évidemment oui si les armatures sont bien constituées par les métaux mêmes; mais rien n'est moins prouvé.

On sait effectivement que dans un condensateur les charges électriques quittent les surfaces métalliques pour se porter en grande partie sur les faces opposées de la lame isolante qui deviennent ainsi les véritables armatures du condensateur. Ainsi donc, la seule quantité accessible à l'expérience dans ces sortes de mesures est la différence de potentiel que prennent les faces opposées de la lame

---

[1] Voir *De l'effet Peltier dans la mesure des forces électromotrices de contact* (*Journal de Physique*, t. IX, p. 122).

Digitized by Google

isolante quand on rejoint métalliquement les métaux. Pour qu'il n'en fût pas ainsi, il faudrait que le diélectrique jouît d'un pouvoir isolant absolu. Désignons par le symbole $A|B$ la différence de potentiel que présentent au contact deux corps A et B. Appelons I la substance isolante, M et M′ les deux métaux, V et V′ les potentiels des faces opposées de la lame isolante quand les métaux communiquent métalliquement entre eux; on a, par définition, pour le potentiel du métal M la valeur $V + I|M$, pour celui de M′ la valeur $V + I|M + M|M'$, et enfin pour celui de la deuxième face de l'isolant $V + I|M + M|M' + M'|I$, d'où

$$V' = V + I|M + M|M' + M'|I$$

et

$$V' - V = I|M + M|M' + M'|I.$$

Ainsi donc, ce qu'on mesure $(V' - V)$ est vraisemblablement la somme de trois forces électromotrices de contact, et, si $I|M + M'|I$ n'est pas nul, ce que rien ne nous autorise à admettre *a priori*, la force électromotrice de contact *apparente* $(V' - V)$ diffère de la force électromotrice *vraie* $M|M'$.

Il est donc probable que la nature de la lame isolante doit influencer les mesures électroscopiques.

Une autre remarque doit encore être faite : les métaux que nous avons désignés par M et M′ sont ceux qui forment la couche la plus superficielle des faces métalliques en regard, d'après la deuxième loi de Volta; toute cause qui tend à modifier physiquement ou chimiquement la surface de ces métaux peut modifier aussi la valeur de $(V - V')$. En particulier, les gaz condensés par les surfaces métalliques peuvent peut-être changer assez celle-ci pour influencer d'une façon sensible le phénomène.

C'est ce qui m'a engagé à faire varier les gaz qui séparent les plateaux dans mes expériences, et j'ai reconnu qu'effectivement la nature et la pression du gaz ont une influence sensible sur la valeur de la force électromotrice de contact apparente, mais que cette influence reste comprise entre des limites *très faibles* par rapport à la valeur totale. Il résulterait de là que la valeur vraie de la force électromotrice de contact serait très voisine de la valeur apparente.

J'ai constaté aussi que deux métaux de même nature chimique,

Digitized by Google

mais à des températures différentes, présentaient une certaine force électromotrice de contact, et que celle-ci est d'un ordre de grandeur bien supérieur (50 à 100 fois) à celui des forces électromotrices thermo-électriques moyennes pour les mêmes intervalles de température.

Je crois que ces deux phénomènes n'avaient pas encore été constatés expérimentalement. Leur étude est poursuivie.

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1880.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Gouy, docteur ès sciences, à Paris;
Regnard, Sous-Directeur du laboratoire de Physiologie, à la Sorbonne.

M. d'Almeida communique à la Société une lettre de MM. Vincent et Leclerc relative à un appareil projeté par eux et devant servir de galvanomètre inscripteur. Le principe de ce galvanographe consiste à maintenir l'aiguille aimantée à une déviation constante et à approcher ou éloigner le courant. Ces variations de position du courant s'obtiennent par deux électro-aimants qui sont mis en activité dès que l'aiguille s'éloigne de sa position fixe, par suite de son contact avec deux petites coupelles de mercure très voisines et placées de part et d'autre de la position constante de l'aiguille.

M. A. Duboscq présente un appareil destiné à produire facilement l'interversion de la raie du sodium. Entre la fente de la lanterne de projection et la lentille se trouve une série de lampes à alcool alimentées par l'alcool salé. M. Cornu fait remarquer que le phénomène serait plus net encore en plaçant les lampes à alcool avant la fente. Le procédé de M. A. Duboscq revient à projeter sur le spectre une image diffuse de la flamme d'alcool.

Digitized by Google

M. Cailletet répète ses expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux.

M. Garbe communique, au nom de M. Mouton, les résultats de ses travaux sur la dispersion des rayons calorifiques obscurs.

Expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux; par M. Cailletet.

En poursuivant mes recherches sur la compression des gaz, j'ai constaté, ainsi que M. Andrews et plusieurs autres savants l'avaient déjà fait, que l'acide carbonique mélangé à l'air ne se liquéfie plus avec la même facilité que l'acide pur.

J'ai étudié également les mélanges d'acide carbonique et de protoxyde d'azote avec l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, et j'ai constaté plusieurs faits intéressants dont je poursuis l'étude en ce moment.

J'emploie pour mes recherches l'appareil qui m'a servi pour la liquéfaction des gaz, et je mesure les pressions à l'aide d'un manomètre à azote que j'ai décrit à l'occasion de mes recherches sur la loi de Mariotte ([1]).

En comprimant dans le tube de l'appareil un mélange de 1^{vol} d'air et de 1^{vol} d'acide carbonique, la liquéfaction n'est plus possible même à zéro et à 400^{atm}, le point critique de ce mélange étant situé bien au-dessous de la température de la glace fondante.

Lorsque l'on comprime un mélange de 5^{vol} d'acide carbonique et de 1^{vol} d'air, l'acide carbonique se liquéfie facilement si la température n'est pas supérieure à $+21°$; puis, si l'on augmente la pression jusqu'à $150\text{-}200^{atm}$, le ménisque de l'acide liquéfié, qui était concave, d'une netteté parfaite, devient bientôt plan, ne semble plus toucher les parois du tube, s'efface peu à peu, et le liquide disparaît.

Si l'on agite alors le tube, on ne voit plus le liquide, mais des stries nombreuses indiquent que la matière qui occupe le sommet

---

([1]) Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 61.

du tube n'est pas entièrement homogène. En continuant à agiter l'appareil, les stries disparaissent bientôt, et le tube ne contient plus qu'une masse gazeuse qui résiste à toutes les pressions presque autant qu'un liquide.

Si l'on diminue la pression avec lenteur, afin d'éviter les phénomènes de refroidissement, on observe que le liquide reparaît toujours à une pression constante pour une température déterminée; il se produit alors au-dessus du mercure un brouillard blanc opaque qui se développe et s'évanouit en un instant, en découvrant le niveau du liquide qui vient de reparaître. En opérant sur un mélange formé de 5^{vol} d'acide carbonique et de 1^{vol} d'air, le liquide carbonique reparaît à

132^{atm}	à la température de +	$5^{\circ},5$
124	»	10
120	»	13
113	»	18
110	»	19

Le gaz carbonique comprimé à $+ 21^{\circ}$ ne se liquéfie plus même à 400^{atm}.

Les mélanges formés d'acide carbonique et de mêmes volumes d'azote, d'hydrogène et d'oxygène ne se liquéfient pas sous les mêmes pressions; il semble que chaque gaz constitue un mélange jouissant de propriétés particulières.

La disparition du liquide, qui a lieu dans tous les cas, ne peut s'expliquer par l'élévation de la température causée par la compression. Dans mes expériences, le tube qui contient les gaz est maintenu à température fixe au moyen d'un manchon qui reçoit un courant d'eau à température constante, et la compression se fait assez lentement pour que la chaleur développée ne puisse troubler les résultats.

On pourrait supposer que la disparition du liquide n'est qu'apparente et que, l'indice de réfraction de l'air comprimé augmentant plus vite que celui de l'acide liquide, il arrive un moment où la surface de séparation du gaz et du liquide cesse d'être visible au moment où les deux indices deviennent égaux.

Cette explication ne peut être admise, car, en augmentant de plusieurs centaines d'atmosphères la pression du système, la surface

Digitized by Google

de séparation du gaz et du liquide redeviendrait visible, l'indice de réfraction du gaz continuant à augmenter par hypothèse plus rapidement que l'indice du liquide. Or l'expérience que j'ai poussée jusqu'à 450^{atm} n'a donné que des résultats négatifs.

En réalité, tout se passe comme si à un certain degré de compression l'acide carbonique liquéfié se diffusait dans le gaz que le tube contient, en produisant une matière homogène sans changement sensible de volume.

Il est donc permis d'admettre que le gaz et le liquide se sont dissous l'un dans l'autre. J'ai essayé de vérifier cette hypothèse en rendant visible l'acide liquide, ce qui serait facile en le colorant; de toutes les substances essayées, l'iode seul a pu se dissoudre, mais son action sur le mercure est si rapide, que le tube est aussitôt rendu opaque par la couche d'iodure de mercure qui masque le phénomène.

En résumé, on peut supposer que sous de hautes pressions un gaz et un liquide, tels que l'acide carbonique ou le protoxyde d'azote, peuvent se dissoudre l'un dans l'autre en formant un tout homogène.

Sur la mesure des longueurs d'ondulation des radiations infra-rouges; par M. L. Mouton.

Ainsi que je l'ai rappelé dans une Communication faite le 7 novembre 1879, si entre deux nicols parallèles on place une lame de quartz taillée parallèlement à son axe, celui-ci faisant un angle de 45° avec les sections principales des nicols, et que l'on fasse traverser le système par un faisceau normal à la lame, reçu ensuite sur la fente d'un spectroscope, le spectre sera sillonné de bandes noires parallèles à la fente, et la longueur d'onde λ du milieu de chacune de ces bandes répondra à la relation

$$\frac{e(n'-n)}{\lambda} = \frac{2k+1}{2}, \tag{1}$$

dans laquelle e est l'épaisseur de la lame, n' et n les indices ordinaire et extraordinaire du quartz correspondant à λ, k un nombre

Digitized by Google

entier qui diminue d'une unité quand on passe d'une bande à sa voisine en allant du violet au rouge. J'ai montré comment se détermine l'épaisseur e en millimètres de Fraunhofer ([1]), ainsi que le nombre k correspondant à une bande déterminée. Ainsi, j'ai cité une lame pour laquelle $e = 247^{\mu}$, et le nombre $\frac{2k+1}{2}$ correspondant à la dernière bande noire visible du côté rouge est $\frac{7}{2}$. Il suit de là que les bandes obscures ou plutôt froides que MM. Fizeau et Foucault ont les premiers vues se continuer dans le spectre infra-rouge ne pourront pas, avec cette plaque, dépasser trois, correspondant successivement aux nombres $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ et $\frac{1}{2}$.

Cela posé, supposons un spectroscope agencé de telle façon qu'on puisse connaître toujours avec une exactitude déterminée l'indice, par rapport à la substance du ou des prismes qui y entrent, de la radiation frappant la pile à un moment donné; faisons en second lieu les prismes du spectroscope en quartz, l'arête réfringente étant parallèle à l'axe de cristallisation. Suivant que l'on placera les sections principales des polariseurs parallèles ou perpendiculaires à cette arête, on aura le spectre extraordinaire ou le spectre ordinaire du quartz. Puisque dans l'un comme dans l'autre cas nous pouvons mesurer l'indice des radiations frappant la pile, celle-ci étant amenée sur une bande froide dans le cas du spectre ordinaire, on aura le nombre n, et sur la bande de même ordre, dans le cas du spectre extraordinaire, le nombre n'. Ainsi, sans aucune extrapolation, tout, excepté λ, sera connu dans l'égalité (1).

Tel est le procédé que j'ai employé; c'est, comme on le voit, celui de M. Fizeau ([2]), débarrassé de l'extrapolation relative à la différence $n' - n$, dont je mesure directement les deux termes.

Il ne me reste plus qu'à décrire brièvement le spectroscope que j'ai adopté et le moyen à l'aide duquel la pile était amenée sur le milieu d'une bande froide.

La *fig.* 1 représente tout le dispositif expérimental.

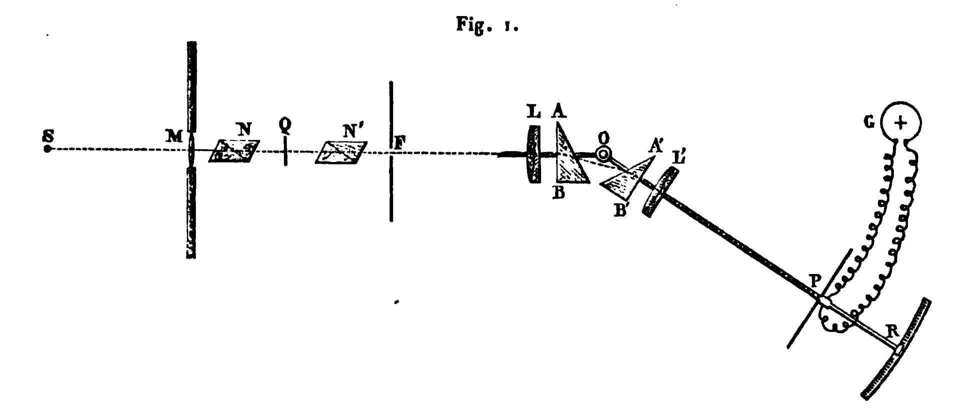
([1]) J'appelle *millimètre de Fraunhofer* une unité de longueur telle que la longueur d'ondulation de la raie D_1 y soit 0,0005888, nombre adopté par M. Mascart. J'en désigne la millième partie par μ.

([2]) *Comptes rendus de la Société philomathique*, 1847.

Digitized by Google

En S est la source lumineuse et calorifique (lampe Bourbouze), dans la pièce voisine de celle qui contient les appareils; une lentille M encastrée dans la cloison donne en F l'image de la lampe. Entre M et F ($0^m,50$ environ) sont les polariseurs N et N′, énormes nicols de $0^m,05$ d'ouverture, et la lame Q. En F commence le spectroscope. La fente F et la lentille achromatique L constituent le collimateur; la lentille L′ et la pile linéaire P correspondent à la lunette. A et A′ sont deux prismes d'angles réfringents égaux :

Fig. 1.



le premier, A, est fixe; le second, A′, est avec la lentille L′ et la pile P, monté sur un bras solide tournant autour d'un centre O. En R est un arc de cercle gradué de centre O, donnant la minute. C'est le dispositif de couple dont l'idée appartient à MM. Gouy et Thollon [1].

Je place la fente F au foyer de la lentille L, en même temps que le faisceau cylindrique qui sort de L est rendu normal à la face AB par le procédé le plus exact connu, à savoir l'image de la fente F réfléchie sur AB étant ramenée à coïncider avec cette fente elle-même. La même chose a lieu pour A′, L′ et P. Ici j'ai dû faire en sorte que le corps de la pile pût se séparer de l'écran-fente donnant accès aux radiations; une lampe mise à la place de la pile fournit le faisceau, et, le réglage fini, la pile est replacée. Enfin un brûleur à sodium, mis à la place de la lampe S, donne en P la

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIII, p. 269; t. LXXXVI, p. 329 et 595.

Digitized by Google

raie très nette de la soude; j'amène, par la rotation du bras OP autour de O, cette raie à tomber sur la fente de la pile, et la position du vernier terminant ce bras est notée sur l'arc R.

Ce système présente les avantages suivants : 1° toute radiation lumineuse ou obscure frappant la pile jouit, par rapport au système de prismes, des propriétés focales du minimum de déviation ; 2° on a pu à l'avance, sur un bon goniomètre, déterminer l'angle A des prismes, ainsi que leur indice ν par rapport à la lumière de la soude. La déviation Δ que le système imprime à cette lumière est alors donnée par la relation

$$\sin\left(A + \frac{\Delta}{2}\right) = \nu \sin A,$$

et enfin la radiation qui frappera la ligne médiane de la pile quand le vernier sera sur l'arc R, à une distance δ du sodium (du côté rouge par exemple), aura un indice n déterminé par la relation

$$\sin\left(A + \frac{\Delta}{2} - \frac{\delta}{2}\right) = n \sin A.$$

Les mesures optiques étant faites à 10″ près avec des prismes se tenant entre 30° et 35°, si le pointé calorifique fournit δ à 1′ près, l'indice n sera déterminé avec quatre chiffres décimaux exacts.

J'ai placé successivement en Q cinq lames de quartz étudiées optiquement au préalable, comme on l'a vu, et choisies de façon que les bandes qu'elles fournissent ne soient ni trop larges ni trop voisines les unes des autres.

J'ai employé, pour déterminer la position de chaque bande froide, le procédé indiqué par MM. Fizeau et Foucault : la lame Q ayant son axe placé parallèlement aux sections principales des polariseurs, on lit la déviation galvanométrique ; la lame est ensuite placée à 45°, les bandes se produisent et l'on a une nouvelle déviation ; le rapport entre celle-ci et la précédente oscille, quand on promène la pile dans le spectre, entre 0 et 1 ; ses minima correspondent aux bandes froides.

Ce procédé, que MM. Fizeau et Foucault avaient imaginé, à cause de l'irrégularité du spectre calorifique du Soleil, pour ne pas, comme ils le disent, « confondre une bande d'interférence avec un minimum normal de l'intensité calorifique », avait pour moi l'avantage

Digitized by Google

d'annuler l'effet des variations de la lampe. Grâce à un système automatique permettant de faire tourner rapidement la lame de 45°, chaque couple d'observations, absolument indépendant des autres, ne durait que quelques minutes et pouvait être renouvelé autant qu'il le fallait, en fournissant, quel que fût l'état de la lampe, des résultats toujours comparables entre eux.

Je n'ai recherché exactement que la position des bandes froides, les autres m'ayant toujours paru se déterminer moins nettement.

Le Tableau ci-après donne les résultats suivants.

Nos d'ordre des lames.	Leur épaisseur.	Ordre de la dernière bande lumineuse.	Ordre des bandes calorifiques pointées.	Valeurs correspondantes de $n' - n$.	Valeurs correspondantes de λ.
1 ...	125^{μ}	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	0,00900	$0^{\mu},73$
			$\frac{1}{2}$	0,00870	2,15
2....	181	$\frac{5}{2}$	$\frac{3}{2}$	0,00890	1,07
3 ...	247	$\frac{7}{2}$	$\frac{5}{2}$	0,00893	0,88
			$\frac{3}{2}$	0,00880	1,45
4....	303,6	$\frac{9}{2}$	$\frac{5}{2}$	0,00886	1,08
			$\frac{3}{2}$	0,00875	1,77
5. ..	616	$\frac{15}{2}$	$\frac{5}{2}$	0,00868	2,14

On voit que la lame n° 1 a donné toutes les bandes qu'on devait en attendre. Il n'en est pas de même des autres. Ainsi, la bande $\frac{1}{2}$ du n° 3 n'existe pas. Cela tient à ce qu'elle se produirait à une longueur d'onde que ne renferme pas le spectre des radiations traversant le système.

Il résulte du présent travail qu'un nombre pour ainsi dire illimité de bandes de longueur d'onde connue peuvent être produites dans le spectre infra-rouge donné par un prisme d'une substance quelconque. On peut donc graduer en longueurs d'onde un spectroscope calorifique, quelle qu'en soit d'ailleurs la forme.

On voit, de plus, que, si dans le spectroscope que j'ai adopté on place des prismes de substances différentes, à côté de la longueur d'onde d'une bande s'obtiendra son indice par rapport à cette substance. Je suis donc actuellement à même de suivre jusqu'à la longueur d'onde $2^{\mu},14$ la loi de dispersion d'une substance quelconque. Si l'on observe que la longueur d'onde de la raie R, la dernière déterminée dans l'ultra-violet par M. Mascart, est

Digitized by Google

$0^{\mu},31775$, on voit que celle de la dernière bande que j'ai pointée, $2^{\mu},14$, est plus de six fois plus grande. On dispose ainsi d'une gamme totale supérieure à deux octaves et une quarte, dans laquelle ne figure guère que pour une octave la totalité des radiations chimiques et lumineuses.

SÉANCE DU 5 MARS 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 20 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Debrun, préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux;
Jussieu (de), imprimeur à Autun;
Mersanne (de), ingénieur civil à Paris;
Palmade, lieutenant du génie, au fort de Tournoux.

M. Niaudet présente un radiomètre électrique dont les palettes viennent passer successivement dans l'axe d'un tube de Geissler. Cet appareil tourne comme s'il était repoussé par le pôle négatif.

M. Bertin décrit la jauge de Mac-Leod, employée par M. Crookes pour mesurer le vide de ses tubes. Cet appareil peut, d'après M. Crookes, mesurer une pression de $\frac{5}{10000}$ d'atmosphère, et, d'après M. Warren de la Rue, peut aller jusqu'à une pression sept ou huit fois plus faible.

M. Marcel Deprez expose ses recherches sur le rendement économique des moteurs électriques et sur la mesure de la quantité d'énergie qui traverse un circuit électrique; il décrit et présente ensuite un galvanomètre servant à mesurer de forts courants variant rapidement.

M. Javal présente un petit photomètre portatif destiné à mesurer la quantité de lumière que reçoit chacune des places d'une salle

Digitized by Google

d'école; il consiste dans la comparaison d'une feuille de papier éclairée, placée à une place donnée, et de teintes plates obtenues par des hachures noires plus ou moins serrées.

M. Napoli parle, à ce propos, d'un photomètre qu'il a construit et dont le principe consiste en deux disques superposés animés d'un mouvement de rotation et présentant des fenêtres qui peuvent se recouvrir et donner un rapport quelconque entre les pleins et les vides. Cet appareil sera présenté dans la prochaine séance.

Sur le rendement économique des moteurs électriques et sur la mesure de la quantité d'énergie qui traverse un circuit électrique; par M. Marcel Deprez.

Quand, sur le circuit d'une pile, on intercale un moteur, l'intensité du courant est différente, suivant que le moteur est en repos ou tourne en développant un certain travail. Soient I l'intensité du courant quand le moteur est immobile, et i son intensité quand le moteur travaille. Après avoir mesuré ces deux valeurs, arrêtons le moteur et introduisons dans le circuit une résistance telle que l'intensité du courant soit ramenée de I à i. Dans ces conditions, la production d'énergie par la pile est évidemment la même que lorsque le moteur travaillait, puisque la force électromotrice de la pile et l'intensité du courant sont restées les mêmes. D'autre part, la consommation d'énergie n'a évidemment pas varié dans la partie du circuit étrangère au moteur et à la résistance additionnelle. Nous sommes donc en droit d'affirmer que, comme consommation d'énergie, le moteur en travail d'une part, et le moteur en repos et la résistance additionnelle d'autre part, se remplacent identiquement.

Or, la quantité d'énergie absorbée dans une simple résistance et convertie en chaleur, pendant l'unité de temps, a pour expression le produit de la résistance par le carré de l'intensité du courant.

En représentant par r_1 la résistance du moteur en repos, par r_2 la résistance additionnelle qui est nécessaire pour ramener le

Digitized by Google

courant à l'intensité i, et par Q la quantité de chaleur qui traverse l'ensemble de ces deux résistances, on a

$$Q = (r_1 + r_2) i^2.$$

D'après ce qui précède, c'est cette même quantité d'énergie qui traverse le moteur en mouvement, tant sous forme de chaleur que sous forme de travail. Désignons ce dernier par T; on a

$$T + r_1 i^2 = (r_1 + r_2) i^2 \quad \text{ou} \quad T = r_2 i^2.$$

En comparant cette portion d'énergie convertie en travail utile à la quantité totale qu'absorbe le moteur, on a l'expression du rendement

$$\frac{T}{Q} = \frac{r_2}{r_1 + r_2}.$$

Cette expression très simple peut être remplacée par une autre, qui a une grande importance dans le cas où le courant est engendré par une machine dynamo-électrique. Désignons par E_1 la force électromotrice de la machine génératrice, par E la force électromotrice inverse de la machine réceptrice, qui, par sa rotation même, tend à engendrer un courant de sens contraire à celui de la machine génératrice. Le courant qui circule dans l'ensemble du circuit et des deux machines est dû à la différence $E_1 - E$; son intensité a pour expression, en désignant par R la résistance *statique* [1] des deux machines et du circuit extérieur,

$$I = \frac{E_1 - E}{R}.$$

Cherchons maintenant la valeur de la résistance r_2 qu'il faudrait ajouter au circuit pour que le courant qui le traverse, quand on s'oppose à la rotation de la machine réceptrice, ait encore l'intensité I; cette résistance r_2 sera donnée par l'équation

$$\frac{E_1 - E}{R} = \frac{E_1}{R + r_2},$$

---

[1] Je désigne ainsi la résistance des machines à l'état de repos.

Digitized by Google

d'où

$$r_2 = \frac{E_1 R}{E_1 - E}.$$

La valeur du rendement économique absolu de la machine réceptrice sera égale, d'après le théorème précédent, à $\frac{r_2}{r_1 + r_2}$ dans laquelle r_1 devra être remplacé par la *résistance totale* R de tout le circuit. Ce rendement, qui n'est autre que le rapport du travail transmis au travail dépensé, devient alors, en remplaçant r_2 par sa valeur,

$$\frac{E}{E_1},$$

expression remarquable, qui est indépendante de la résistance du circuit extérieur (¹). Ce fait peut sembler extraordinaire au premier abord, et même contradictoire à certaines expériences, dans lesquelles on ne s'est peut-être pas préoccupé suffisamment de réaliser les conditions du maximum de rendement. Pour le rendre moins paradoxal, il suffit de rappeler que, lorsqu'un courant est employé à produire de l'énergie sous une autre forme que le travail mécanique, par exemple la décomposition de l'eau dans un voltamètre, le nombre d'équivalents d'eau décomposés est toujours égal au nombre d'équivalents de zinc dissous dans chacun des éléments de la pile, quelle que soit la longueur du circuit extérieur, qui, d'ailleurs, n'a plus d'influence sur le nombre des éléments nécessaires pour opérer cette décomposition. Il y a donc là un fait expérimental bien constaté, dans lequel le rendement économique n'est pas influencé par le circuit extérieur.

Je passe maintenant à la description de l'appareil permettant de mesurer la quantité d'énergie qui passe pendant l'unité de temps dans un circuit électrique compris entre deux points A et B.

Joignons ces deux points par un circuit auxiliaire d'une grande résistance, dans lequel nous intercalerons un rhéomètre à fil fin et long, tandis que dans le circuit principal nous plaçons un rhéomètre à gros fil. Cela posé, cherchons l'expression de la quantité d'énergie qui passe dans le circuit principal, en fonction des inten-

---

(¹) Cette expression du rendement a déjà été donnée par M. Cabanellas.

Digitized by Google

sités de ces deux courants, mesurées par les déviations des aiguilles des rhéomètres.

Désignons par I et R l'intensité et la résistance du circuit principal, par I′ et R′ les quantités correspondantes dans le circuit auxiliaire. Soit E la différence des potentiels en A et en B. La quantité d'énergie qui passe dans le circuit principal est exprimée par RI^2 ou EI, tandis que l'intensité du courant dans le circuit auxiliaire a pour valeur

$$\frac{E}{R_1} = I',$$

d'où

$$E = R'I',$$

et par suite

$$EI = R'II'.$$

La quantité d'énergie est donc proportionnelle au produit des intensités des deux courants ou au produit des déviations des aiguilles.

J'ai imaginé plusieurs dispositions qui donnent immédiatement, et par une simple lecture, la valeur de ce produit II′. La plus simple d'entre elles consiste en un cadre multiplicateur, d'assez grande dimension, dans l'intérieur duquel se trouve un second cadre mobile sur des couteaux. Sur le cadre fixe est enroulé un fil fin et long, faisant un grand nombre de tours et constituant le circuit dérivé. Le second cadre est, au contraire, entouré d'un fil très gros, traversé par le courant principal. Deux petites coupes remplies de mercure, et dans lesquelles plongent des lames attachées au cadre mobile, permettent de lui amener le courant sans nuire en rien à sa mobilité. Enfin une petite masse fixée au cadre mobile, dans le prolongement de la droite qui joint l'axe des couteaux au centre de gravité de ce cadre, permet d'obtenir l'effort antagoniste qui doit faire équilibre au couple résultant des actions réciproques des deux cadres, lequel est proportionnel au produit II′ des intensités des deux courants qui traversent ces cadres. En ajoutant à cet appareil un totalisateur que j'ai imaginé en 1876 [1]

[1] Ce totalisateur diffère de ceux qui sont connus, par l'adjonction d'un mécanisme auquel j'ai donné le nom de *servo-moteur cinématique*, et qui permet à des appareils très délicats de commander avec une extrême précision le mouvement d'organes soumis à des frottements relativement considérables.

Digitized by Google

et qui a été appliqué depuis dans le wagon d'expériences de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, on peut obtenir, à un instant quelconque, la valeur de l'intégrale $\int_0^t II'dt$, qui fait connaître la quantité totale d'énergie qui a traversé le circuit pendant le temps t.

Le mesureur d'énergie permettra de réaliser facilement des expériences qui présentent d'assez grandes difficultés quand on emploie la méthode ordinaire. Parmi elles, je citerai la mesure de la quantité de chaleur nécessaire pour opérer une décomposition chimique.

Sa graduation peut être faite soit en calories, soit en kilogrammètres par minute, soit en chevaux-vapeur. Appliqué à une lampe électrique, par exemple, il indiquera à chaque instant le travail absorbé par la production de la lumière. Pour le graduer, il faut employer tout le courant qui traverse le circuit principal à chauffer un calorimètre dont on fera varier la résistance. A chacune de ces résistances correspondra un nombre déterminé de calories par minute et une position de l'aiguille de l'instrument. On pourra ainsi déterminer plusieurs points de la graduation du cadran et achever cette graduation par interpolation graphique. Un instrument étalon ainsi gradué avec beaucoup de soin permettra de graduer autant d'instruments que l'on voudra.

Galvanomètre de M. Marcel Deprez; par M. A. Niaudet.

La figure ci-jointe présente une des formes qu'a reçues l'instrument.

L'aiguille est ici multiple : ce sont réellement seize ou dix-huit petites aiguilles parallèles, montées sur un axe unique, et dont l'aspect particulier a fait dénommer l'appareil *galvanomètre à arête de poisson*. Ces aiguilles sont de fer doux; elles sont placées, comme on le voit, entre les deux branches parallèles d'un aimant en fer à cheval. Cet aimant puissant les dirige énergiquement dans son plan, si énergiquement, que, si l'on écarte à la main le système

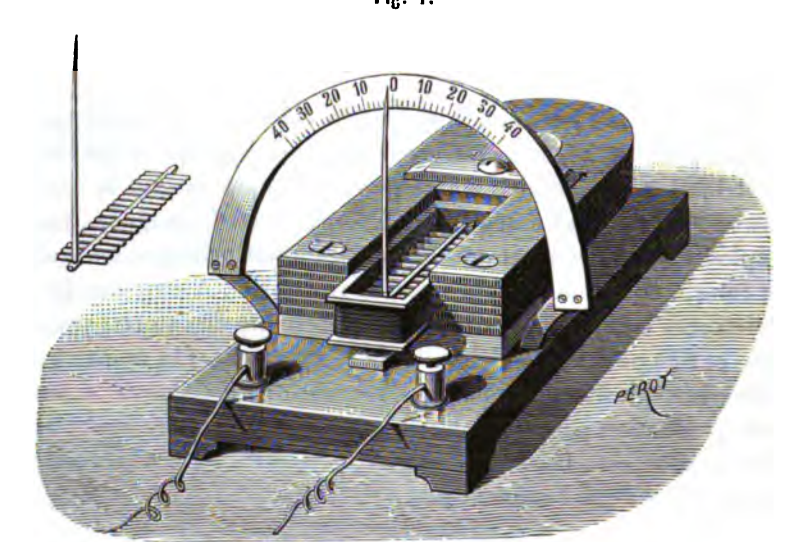
Digitized by Google

des aiguilles, il revient par un saut brusque à sa position de repos et y oscille entre des limites très rapprochées.

Le conducteur du courant qui doit agir sur l'aiguille est placé sur un petit cadre rectangulaire entre les aiguilles et les branches de l'aimant.

Dès que le courant passe, on voit l'aiguille sauter brusquement à sa position nouvelle d'équilibre et s'y tenir, sans ces longues os-

Fig. 1.



Galvanomètre de M. Marcel Deprez.

cillations qui, avec les galvanomètres ordinaires, font perdre tant de temps aux expérimentateurs.

L'instrument est complété par une aiguille indicatrice mobile devant un cadran. Dans l'appareil ici représenté, l'axe qui porte les aiguilles est dans le plan horizontal de l'aimant directeur. Dans une autre disposition, cet axe est perpendiculaire à la direction générale de cet aimant; l'aiguille aimantée est unique et se meut dans le plan vertical : il résulte de cet arrangement que l'indicatrice est rabattue sur l'aimant et que l'appareil a un moindre volume.

On peut composer le conducteur de plusieurs spires de fil recouvert de soie, comme dans l'appareil figuré, ou bien le former

Digitized by Google

d'une seule lame de cuivre, pour rendre sa résistance presque nulle.

On voit par la description qui précède que ce galvanomètre n'a pas besoin d'être orienté, puisque son aiguille aimantée, dans la position qu'elle occupe, est soumise à une action infiniment plus grande que celle de la Terre.

Mais la propriété la plus importante de cet instrument est de donner instantanément l'indication de l'intensité du courant; il en résulte, en effet, la possibilité de montrer des variations très brusques de l'intensité, variations que les galvanomètres actuels sont impuissants à faire connaître. Cette propriété tient à l'extrême légèreté du système mobile et à la grande énergie des actions qui le sollicitent. Quand l'aiguille arrive par un saut un peu grand à sa position d'équilibre, on la voit bien osciller un moment, mais ces oscillations ont le caractère des vibrations d'un diapason et témoignent de l'énergie des actions mises en jeu. Si l'on met le galvanomètre dans le circuit d'une machine Gramme, on voit l'aiguille trahir par des oscillations toutes les irrégularités du mouvement de la machine. Si l'on fait passer le courant d'une forte pile dans un puissant électro-aimant, et qu'on l'étudie en même temps au galvanomètre, on voit l'intensité varier et croître pendant un temps fort long, qui peut s'étendre à une minute dans des circonstances spéciales, c'est-à-dire que le développement complet du magnétisme n'est achevé qu'au bout de cette période et que, pendant tout le temps qu'elle dure, la réaction d'induction de l'électro-aimant est sensible et décroissante.

Il nous reste à dire que le galvanomètre en question permet d'évaluer mécaniquement l'intensité du courant et de peser, pour ainsi dire, le courant. Si, en effet, on produit une déviation déterminée de l'aiguille de l'instrument en faisant agir un poids de 10^{gr} sur un rayon de $0^{m},10$, on pourra affirmer qu'un courant produisant la même déviation exerce un effort égal à celui du poids.

Digitized by Google

SÉANCE DU 19 MARS 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHAMANT (Joseph), capitaine au 139e d'infanterie de ligne, à Clermont-Ferrand;

KERANGUÉ (Yves DE), capitaine au 121e d'infanterie de ligne, à Saint-Étienne ;

MONTFERRIER (Abel DE), à Paris.

M. le comte L. Hugo adresse une Note sur le caractère sinusoïdal de la loi de refroidissement de la protonébuleuse solaire, d'après toutes les observations planétaires.

M. Leclerc envoie la description d'un appareil qu'il a imaginé avec M. Vincent, destiné à enregistrer électriquement les morceaux de musique joués sur un piano quelconque.

M. Gariel montre à la Société de nouveaux appareils représentant la marche des rayons lumineux, soit à travers une lentille, soit dans l'œil.

M. Gariel montre ensuite un dispositif qui rend visible la marche des rayons lumineux dans diverses expériences d'Optique géométrique; les rayons rasent un écran de verre dépoli, y marquent leur trace et dessinent ainsi une figure pareille à celles que l'on trace sur le tableau noir pour les démonstrations.

M. Marcel Deprez démontre, en réponse à une observation de M. Joubert, présentée à propos du dernier procès-verbal, que l'expression générale du travail électrique est égale à ei, e étant une différence de potentiel et i l'intensité du courant.

M. Raynaud ajoute que le même théorème se trouve établi dans le livre de Verdet, et qu'il sert à démontrer *a priori* la nécessité des forces électromotrices de polarisation et d'induction.

Digitized by Google

M. Deprez expose ensuite un appareil électrique qui reproduit à distance un mouvement quelconque.

M. Napoli fait fonctionner un nouveau photomètre.

M. Gariel présente, au nom de M. le Dr Cusco, un appareil imitant le mécanisme d'accommodation du cristallin. C'est une auge cylindrique contenant de l'eau et dont les bases se bombent plus ou moins sous l'influence d'une pression variable. Le foyer optique du système se déplace alors d'une façon extrêmement marquée, régulière et continue.

Appareils et expériences pour les démonstrations d'Optique élémentaires ; par M. Gariel.

I.

Nous avons indiqué dans une précédente Communication (15 janvier 1875) quelques appareils qu'il nous paraissait intéressant d'introduire dans les Cours élémentaires pour la démonstration et l'explication des lois de l'Optique géométrique. Nous avons eu, depuis cette époque, l'occasion d'étudier à nouveau et

Fig. 1.

de simplifier la construction de ces appareils schématiques, ce qui nous a permis d'étendre leur emploi.

Dans la *fig.* 1, qui reproduit la construction du rayon émergent correspondant dans une lentille à un rayon incident donné, il est

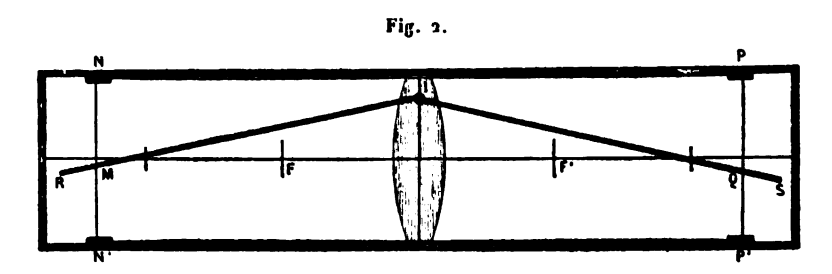
Digitized by Google

facile de démontrer que les trois points f, C et f' sont constamment en ligne droite. Comme le point C est indépendant de la direction du rayon incident et que les longueurs Cf et Cf' sont égales, on en conclut immédiatement que, dans les changements de direction des rayons, les déplacements des points f et f' sont égaux et de sens contraires, d'où résulte que, si ces points sont reliés par un fil passant à la partie supérieure sur une ou plusieurs poulies, et dont la longueur soit invariable, les déplacements des points f et f' correspondent précisément aux changements dus à l'action de la lentille.

L'appareil que nous avons l'honneur de présenter à la Société est construit pour le cas où l'on néglige l'épaisseur de la lentille; il y aurait peu de changements à y introduire pour passer au cas général : il suffirait que les deux rayons correspondants vinssent aboutir sur les deux plans principaux à la même distance de l'axe.

Les deux rayons mobiles RI, SI (*fig.* 2) sont fixés par une glis-

Fig. 2.



sière à un circuit rectangulaire passant sur quatre poulies, et dont la continuité assure que l'entraînement des tiges représentant les rayons aura lieu quel que soit le sens du mouvement. Il n'y a pas lieu d'insister davantage sur le fonctionnement de l'appareil, qui se comprend aisément.

Le mode de liaison que nous venons de signaler nous a permis d'établir un appareil schématique (*fig.* 3) permettant de faire comprendre les principales questions physiques qui se rattachent à la vision.

L'œil, formé de milieux successifs divers, peut, au point de vue optique, être remplacé, comme l'a montré Listing, par une seule surface réfringente (œil réduit). La méthode précédemment indiquée se trouve alors applicable, et, par l'emploi d'un fil reliant le

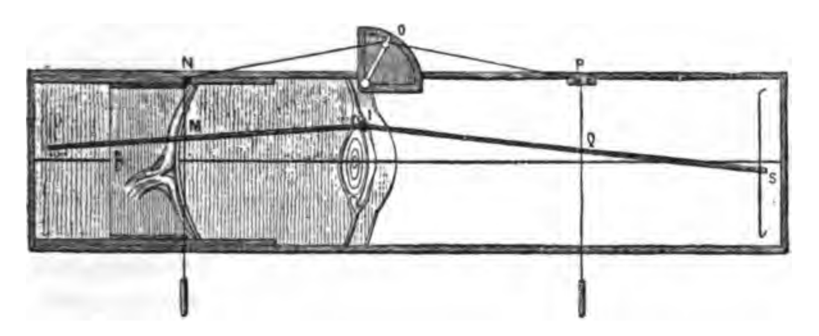
Digitized by Google

rayon réfracté dans l'œil au rayon incident, on peut aisément montrer les divers cas qui peuvent se présenter.

Mais il fallait, en outre, faire comprendre les effets produits par l'accommodation, c'est-à-dire par une augmentation de convergence de l'œil : il eût suffi, pour produire ce résultat, d'augmenter la longueur du fil reliant les deux rayons. Ce moyen n'était pas pratiquement commode; on peut aisément le remplacer en forçant le fil à passer en un point déterminé dont on varie la position. Nous sommes arrivé au résultat en l'astreignant à passer sur une petite poulie O située à l'extrémité d'un bras mobile autour du centre. Lorsque le bras passe de la verticale à l'horizontale, tout se passe



Fig. 3.



comme si les milieux réfringents devenaient plus convergents, c'est-à-dire comme si l'œil passait de l'état de repos à l'état d'accommodation maxima ; le bras se meut d'ailleurs sur un arc de cercle qui peut être gradué et fournit ainsi à l'auditoire une indication visible de l'état d'accommodation.

Pour que l'appareil pût être réellement utile aux étudiants en Médecine, auxquels il est spécialement destiné, il fallait qu'il pût représenter à volonté les états de l'œil correspondant à l'emmétropie, à la miopie, à l'hypermétropie. Nous avons atteint ce résultat simplement en dessinant la partie qui représente la coupe de la rétine sur une pièce mobile que l'on peut faire glisser dans des coulisses, de manière à changer la longueur du diamètre antéro-postérieur de l'œil et à faire passer celui-ci par tous les degrés d'amétropie compris entre l'extrême myopie et l'hypermétropie exagérée.

Digitized by Google

Nous croyons, d'après l'expérience faite en 1879 à la Faculté de Médecine de Paris, que cet appareil peut rendre de réels services dans le cas de Cours spéciaux où la discussion des formules même les plus simples est presque impossible.

II.

Les mêmes conditions que nous venons d'invoquer en faveur de nos appareils schématiques nous ont conduit à présenter sous une nouvelle forme un certain nombre d'expériences relatives à l'Optique géométrique.

Lorsque l'on étudie les effets produits par les lentilles, on dessine au tableau la marche géométrique des rayons, le plan du tableau étant le plan dans lequel se meuvent et restent les rayons. Puis, pour vérifier les résultats indiqués, on fait passer un faisceau à travers une lentille, et l'on étudie les sections faites dans le faisceau émergent par un plan que l'on place transversalement au faisceau et à diverses distances de la lentille. Bien que la relation entre la figure et l'expérience soit des plus simples, nous avons dû reconnaître à plusieurs reprises qu'elle n'était pas toujours comprise, et nous avons cherché à parer à cet inconvénient; après divers essais qu'il serait sans intérêt de rappeler ici, nous sommes arrivé, croyons-nous, à une disposition pratique qui nous paraît appelée à rendre des services. Le principe, fort simple d'ailleurs, consiste à couper les faisceaux que l'on veut étudier par un écran en glace dépolie que l'on place presque parallèlement à l'axe. On a alors une section du faisceau sensiblement plane qui est très nettement visible, même dans un grand amphithéâtre, si l'on y peut obtenir une obscurité à peu près complète.

Il y a bien souvent un grand intérêt à opérer sur un faisceau lumineux que l'on perd trop souvent de vue dans l'étude, pour ne considérer que la marche géométrique d'un ou de deux rayons; mais, en interposant un écran percé de fentes parallèles fines, on peut rendre visibles deux ou trois pinceaux lumineux que l'on peut confondre avec des rayons; si même on dispose d'une source vive de lumière, il est possible, en interposant des verres diversement colorés, de distinguer les rayons, dont la marche se suit avec une facilité plus grande encore.

Digitized by Google

En plaçant sur le trajet du faisceau ou de ses rayons et perpendiculairement à l'écran, ou à peu près, un miroir plan, des miroirs cylindriques en verre argenté, par exemple, on se rend un compte exact de l'action de ces surfaces réfléchissantes dans ces différents cas. On peut également interposer des lames à faces parallèles, des prismes, des lentilles cylindriques, etc. Dans tous les cas, les rayons lumineux réellement visibles dessinent sur l'écran la même figure géométrique que le professeur a tracée au tableau.

Nous avons disposé également une cuve cylindrique remplie d'eau et qui présente sur une base placée verticalement un écran en verre dépoli. En plaçant ce petit appareil à peu près parallèlement à l'axe du faisceau et coupant celui-ci, on met en évidence très simplement les phénomènes de la réfraction dans les divers cas, celui de la réflexion totale, etc., et les faits signalés sont aisément compris.

Le faisceau est obtenu par la lanterne de projection, dont l'usage est généralement répandu maintenant : une lentille cylindrique ou seulement sphérique pour donner au faisceau la forme la plus convenable, des écrans convenablement entaillés suffisent à fournir le faisceau sur lequel on opère. Le reste est également fort simple et peu coûteux.

Nous ajouterons que, pour rendre commodes les expériences avec la cuve de réfraction, il importe que le faisceau horizontal fourni par la lanterne puisse tomber sur la surface de réfraction dans une direction quelconque ; nous avons combiné, à cet effet, un système articulé comprenant deux miroirs et qui satisfait absolument à cette condition.

Dès l'année 1877-1878, nous avions essayé un mode d'expérimentation analogue en coupant simplement les faisceaux par le tableau noir ; mais ce n'est que de l'an dernier (1879) que, par l'emploi de l'écran dépoli, nous sommes arrivés à des résultats véritablement satisfaisants.

Nous croyons devoir ajouter que, à l'Exposition universelle de 1878, M. Rosenberg présentait des appareils analogues, au moins comme but, à ceux dont nous nous occupons aujourd'hui ; ces appareils schématiques étaient conçus dans le même esprit que ceux que nous avons présentés en 1874, et, pour la reproduction lumineuse des figures de l'Optique géométrique, les résultats qu'il

Digitized by Google

obtenait ne nous ont pas paru plus satisfaisants que ceux que nous avions essayés sur un tableau vertical et exigeaient une installation irréalisable dans le cas d'un auditoire nombreux et que nous avons pu éviter par la disposition que nous venons de décrire.

Synchronisme électrique de deux mouvements quelconques; par M. Marcel Deprez.

Les divers dispositifs imaginés jusqu'à présent pour reproduire exactement le mouvement d'un mobile ne paraissent pas répondre aux exigences du but à atteindre, surtout lorsque ce synchronisme doit s'appliquer à des appareils de précision dont les indications doivent être transmises avec la plus grande netteté et la plus rigoureuse exactitude.

Ce problème présente du reste de grandes difficultés, et l'on peut en trouver la preuve dans les efforts des inventeurs de télégraphes autographiques (Caselli, Lenoir, d'Arlincourt, Mayer, etc.), qui n'ont pu résoudre la question que pour le cas seulement où les deux mobiles qui doivent se mouvoir synchroniquement sont animés d'une vitesse constante. S'il s'agit de la reproduction d'un mouvement non uniforme, la solution reste encore à trouver. Je ferai toutefois une exception pour ce que j'ai fait dans ce sens au wagon-dynamomètre de la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Après avoir longuement et patiemment cherché la solution complète du synchronisme, j'ai pu arriver maintenant à la résoudre au moyen de la disposition suivante, dont voici la description :

Récepteur. — Sur un socle de bois (*fig.* 1) sont placés pôles à pôles deux aimants en fer à cheval, à lames superposées, A, A′, dans l'axe de chacun desquels sont disposées deux bobines B, B′ du genre Siemens. Ces bobines sont montées à angle droit sur un même arbre C, c'est-à-dire que l'axe transversal du noyau en fer doux de l'une des bobines est calé sur l'arbre à 90° par rapport à l'axe du noyau de l'autre bobine, de façon que, lorsque l'une d'elles présente l'armature de fer doux aux faces internes de l'aimant, l'autre bobine, au contraire, présente aux mêmes faces du second aimant sa partie recouverte de fils.

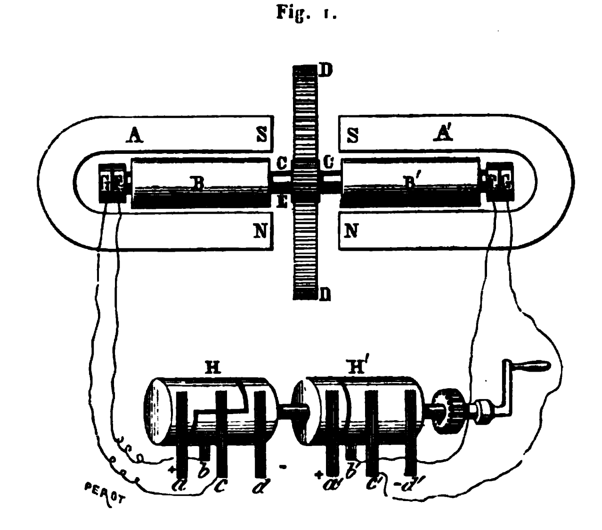
Digitized by Google

Un pignon E, monté sur l'arbre C, engrène avec une roue dentée B, destinée à transmettre le mouvement de rotation pris par les bobines.

Le frotteur F est isolé du frotteur G, et ainsi des deux autres frotteurs de la bobine B'.

Ces frotteurs mettent ainsi en communication les deux bobines

Fig. 1.



avec les commutateurs transmetteurs HH', qui sont, à leur tour, disposés comme suit :

Transmetteur. — Ces commutateurs sont montés sur le même axe.

Le commutateur H se compose de deux coquilles isolées l'une de l'autre et qui sont fixées à angle droit par rapport aux deux coquilles également isolées du second commutateur H'. Ils sont tous deux munis de quatre balais *a*, *b*, *c*, *d*, *a'*, *b'*, *c'*, *d'*.

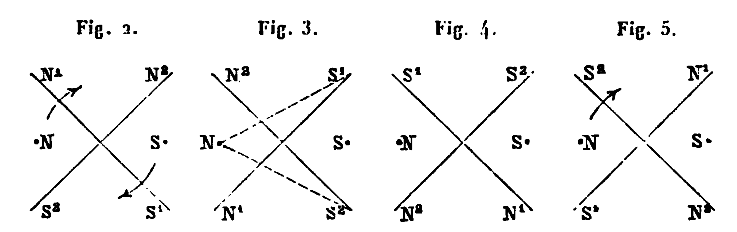
Les balais *a*, *a'*, *d*, *d'* sont reliés à la pile, les balais *b*, *c* avec les frotteurs F et G de la bobine B, ceux *b'*, *c'* avec les frotteurs F', G de la bobine B'.

On voit qu'à l'aide de cette disposition le courant qui se rend aux bobines est renversé deux fois à chaque révolution des commutateurs, mais non pas au même moment pour chacune des bobines, puisque, comme il est dit plus haut, les plans passant par les géné-

Digitized by Google

ratrices isolantes des deux commutateurs font entre eux un angle dièdre de 90°.

S'il n'y avait qu'une seule bobine, elle se placerait, sous l'influence de ce courant, dans la direction des pôles; mais, comme il y en a deux et qu'elles sont conjuguées à angle droit, il est clair qu'elles prendront une position telle, que le plan moyen des noyaux de chacune d'elles fera un angle de 45° avec le plan passant par les quatre pôles des deux aimants (¹).



Toutefois, cette position d'équilibre ne peut subsister qu'à la condition d'être stable. Nous allons chercher comment cette condition peut être remplie, et, pour cela, nous représenterons par les *fig.* 2, 3, 4 et 5 les quatre positions possibles des deux bobines.

Dans la *fig.* 2, cette stabilité est-elle obtenue? Non, car le pôle nord des aimants attire le pôle sud d'une des bobines et repousse en même temps le pôle nord de l'autre. Des phénomènes analogues se produisent si l'on considère le pôle sud des aimants.

Dans la *fig.* 3, l'équilibre paraît possible, puisque les pôles N et S des aimants repoussent simultanément les pôles de même nom des bobines qui leur font face; mais cet équilibre est absolument instable, car, si nous imprimons un mouvement de droite à gauche à l'une des bobines, on voit que le moment moteur de la force NS^1 va augmenter et que, au contraire, le moment résistant de la force NS^2 va diminuer.

Dans la *fig.* 4, le cas de non-équilibre est le même que celui de la *fig.* 2.

La *fig.* 5 seule donne la solution de l'équilibre stable.

En effet, si nous dévions la bobine S^2N^2 dans le sens de la flèche,

---

(¹) Nous supposons, dans tout ce qui va suivre, que les aimants A, A' (*fig.* 1) ont leurs pôles de même nom en regard.

Digitized by Google

on remarque que le moment de l'effort attractif exercé par N sur S^2 va en augmentant, tandis que le contraire a lieu pour le moment de l'effort exercé par N sur S^1.

L'ensemble des bobines tend donc à revenir à sa position primitive.

Si l'on déviait les bobines en sens contraire à la flèche, le même raisonnement prouverait semblablement que l'ensemble des bobines tendrait encore à revenir dans sa position d'équilibre.

Il est donc démontré que la *fig.* 5 représente la position d'équilibre stable et qu'il ne peut exister que celle-là.

Dressons maintenant un Tableau symbolique des courants envoyés par les commutateurs dans chacune des deux bobines, et désignons par $+a$ ou $-a$ ceux envoyés dans la première bobine et par $+b$ ou $-b$ ceux envoyés dans la deuxième :

	1re RÉVOLUTION DES COMMUTATEURS par quart de tour, en partant de la fente du commutateur H.				2e RÉVOLUTION DES COMMUTATEURS par quart de tour, en partant de la fente du commutateur H.				
	1er.	2e.	3e.	4e.	1er.	2e.	3e.	4e.	
1re bobine...	$+a$	$+a$	$-a$	$-a$	$+a$	$+a$	$-a$	$-a$	...
2e » ..	$+b$	$-b$	$-b$	$+b$	$+b$	$-b$	$-b$	$+b$	...

On voit facilement qu'à chacune des positions des commutateurs indiquées dans le Tableau correspond une position d'équilibre stable *et une seule* de l'ensemble des bobines ; chaque fois que les commutateurs prendront une quelconque des positions ci-dessus, les bobines prendront la position correspondante.

Pour être plus explicite, soient a, b, c, d les quatre positions des commutateurs pendant un tour entier et a', b', c', d' les quatre positions correspondantes des bobines.

Si du troisième quart de tour c on passe au quatrième quart de tour d ou au deuxième quart de tour b, les bobines prendront successivement les positions correspondantes suivante ou précédente d' ou c' et ne pourront pas en prendre d'autres, puisque, comme nous l'avons expliqué plus haut, à chaque position du commutateur ne correspond qu'une seule position d'équilibre de l'ensemble des bobines.

Il résulte de là que l'ensemble des bobines prendra un mouvement de rotation direct ou rétrograde suivant que le mouvement de

Digitized by Google

rotation de l'arbre des commutateurs sera lui-même direct ou rétrograde.

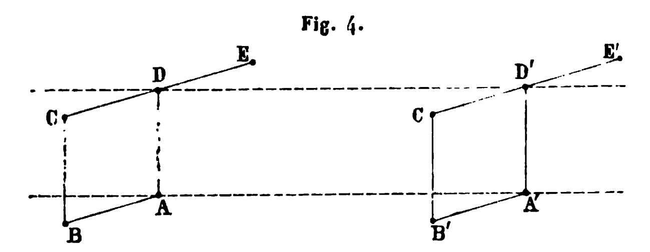
Le problème de la reproduction complète à distance d'un mouvement de rotation donné est donc ainsi complètement résolu.

Lorsque le mouvement de rotation que l'on veut reproduire a lieu toujours dans le même sens et avec une vitesse dont les limites extrêmes ne sont pas trop écartées, l'appareil peut se réduire à un seul commutateur et à une seule bobine, les points morts de cette dernière étant franchis, grâce à l'inertie. Cette considération s'applique surtout au cas où l'on veut transmettre à distance le travail développé par le courant d'une machine d'induction à courants alternatifs.

La solution générale exposée d'abord permet de reproduire à distance, non seulement un mouvement de rotation, mais encore un mouvement quelconque.

Soient en effet (*fig.* 6) deux parallélogrammes articulés ABCD,

Fig. 4.



A'B'C'D' identiques et pouvant prendre toutes les positions possibles, le premier autour du point A et le second autour de A'. Si nous donnons au sommet C du premier une position quelconque dans l'espace, à cette position correspondront deux angles parfaitement déterminés de la tige AB et de la tige AD avec l'horizontale passant par A, et, si nous faisons décrire au point C un cercle quelconque, ces angles varieront suivant une loi qu'il suffira de reproduire dans le second système A'B'C'D' pour que le point C' décrive une courbe identique à celle décrite par C.

Or, si la tige AD communique à une paire de commutateurs conjugués à angle droit un mouvement de rotation qui pourra être amplifié cent fois, par exemple, au moyen d'un engrenage, et si les courants qui ont tourné ces commutateurs sont ensuite envoyés dans une paire de bobines également conjuguées à angle droit, mais

Digitized by Google

dont le mouvement de rotation est diminué cent fois avant d'être transmis à la tige A'D', il en résultera nécessairement que la tige A'D' décrira les mêmes angles que AD et qu'elle ne pourra jamais être en retard sur cette dernière de plus de $\frac{1}{400}$ de tour.

Le même dispositif étant appliqué à la tige AB, on conçoit aisément que, si l'on imprime au point C un mouvement quelconque, ce mouvement aura pour effet de faire décrire aux tiges AB et AD des angles qui seront reproduits, à moins de 1° près, par A'B' et AD' et que, par suite, le point C' décrira la courbe décrite par C.

Cet appareil, qui constitue un véritable pantographe électrique, résout donc complètement le problème de la reproduction à distance d'un mouvement quelconque.

Au lieu de multiplier par des engrenages la vitesse imprimée aux commutateurs, on peut employer la disposition suivante.

De deux disques dentés emboîtant l'un dans l'autre, l'un, que nous désignerons par a, est en communication permanente, par un ballai a' frottant sur sa partie pleine, avec le courant positif, l'autre b avec le courant négatif. Un autre balai a'', en contact avec une des dents et communiquant d'ailleurs avec un des bouts de la bobine du récepteur, fait entrer le courant dans cette bobine qu'il parcourt ensuite tout entière pour arriver au disque b par le balai b'' et retourner à la pile par b'. Si l'on fait avancer ou reculer le secteur denté d'une division, le courant passera du balai a' dans b'', parcourra les hélices de la bobine en sens contraire, pour revenir par a'' au balai b' et à la pile. Il y aura donc inversion de courant chaque fois que le secteur denté avancera ou reculera de l'intervalle d'une dent. Les mêmes phases de phénomène se reproduiront également pour l'autre secteur.

Un nouveau photomètre; par M. D. Napoli.

Le photomètre que j'ai l'honneur de présenter diffère particulièrement des autres photomètres en usage en ce que les deux sources lumineuses sont également éloignées de l'appareil et peuvent être placées à une distance quelconque.

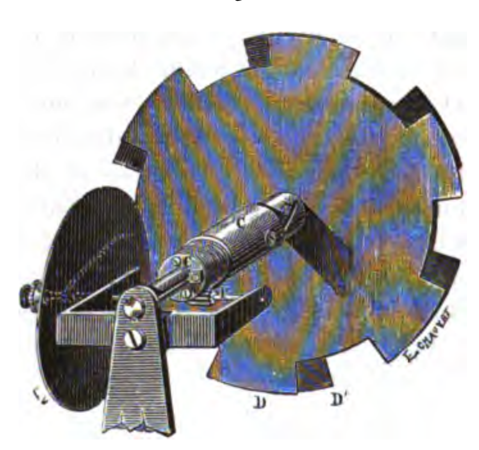
Digitized by Google

Le principe qui sert à l'évaluation des intensités lumineuses est basé sur les phénomènes suivants.

(A) Si, par un trou pratiqué dans la paroi d'une chambre noire, on reçoit sur la paroi opposée la lumière émise par une source lumineuse quelconque, la surface éclairée paraît également intense dans toute son étendue, à la condition, bien entendu, que les rayons du faisceau soient parallèles autant que possible. En réduisant ce trou de moitié, la quantité reçue sur le fond de la chambre noire sera également de moitié ; il en sera de même pour une diminution quelconque de l'ouverture, et la lumière reçue sur la paroi qui sert d'écran sera directement proportionnelle, en quantité, à la diminution correspondante du trou.

(B) Si, maintenant, on remplace la paroi non éclairée de la chambre noire par un disque opaque percé d'un trou à une distance

Fig. 1.



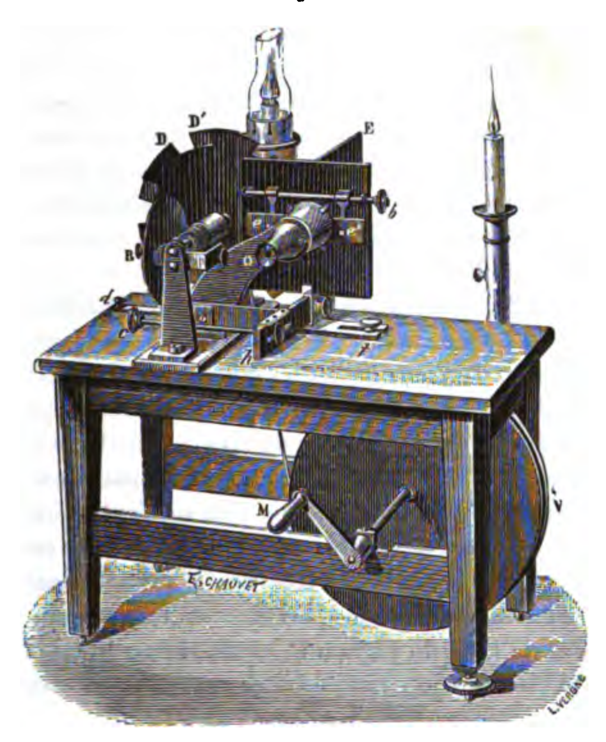
quelconque du centre, et si l'on dispose une source lumineuse en regard de ce trou, on verra, lorsque le disque sera mis en mouvement, l'image se déplacer circulairement sur l'écran et former, par suite de la persistance de l'image sur la rétine, un anneau uniformément éclairé. L'intensité lumineuse de cet anneau est indépendante de la vitesse imprimée au disque : diverses considérations d'ordre physiologique qu'il serait trop long d'expliquer ici le prouvent surabondamment, ainsi que l'expérience. Cette intensité ne dépend que de la surface du trou, et si, pendant que le disque

Digitized by Google

tourne, on augmente ou on diminue ce trou, l'anneau sera éclairé plus ou moins et proportionnellement à la grandeur de l'ouverture, comme, du reste, cela a été dit en (A)([1]).



Fig. 2.



Les principes (A) et (B) ci-dessus étant donnés, voici comment j'ai disposé les différents organes du photomètre.

([1]) Je dois, avant d'aller plus loin, déclarer que ces divers phénomènes ont été observés déjà par d'éminents physiciens, et leur ont même servi à l'explication ou à l'étude de quelques théorèmes d'optique. M. Aubert, de Breslau, s'en est servi pour des expériences démontrant la persistance de l'image sur la rétine; le professeur Gariel, pour démontrer qu'on pouvait diminuer l'intensité lumineuse dans un rapport connu, mais je ne crois pas qu'on en ait jusqu'alors fait une application industrielle aux expériences de photométrie. Depuis que je m'occupe de cette question, et avant même que mon appareil fût présenté à la Société de Physique, on m'a fait remarquer que l'idée sur laquelle il repose, et qu'un jouet d'enfant (le kinétiscope) m'avait, je l'avoue, suggérée, avait servi de point de départ à quelques expériences, quelques essais d'un intérêt différent du mien.

Digitized by Google

En DD′ (*fig.* 1) sont deux disques de même diamètre, juxtaposés et échancrés en créneaux sur leur pourtour; ils se meuvent l'un sur l'autre, de façon à pouvoir présenter des espaces vides ou des pleins plus ou moins grands, à la volonté de l'observateur.

Un de ces disques, D, est calé sur un axe mis en rotation par une manivelle M (*fig.* 2), un volant V et une corde sans fin.

Le second disque D′ est mobile sur l'axe du disque D et porte un cylindre à rainure hélicoïdale dans laquelle s'engage un pivot tenu sur le manchon C (*fig.* 1), lequel, au moyen d'un clavetage, peut se mouvoir longitudinalement dans une seconde rainure pratiquée sur l'axe du disque D et suivant une génératrice.

Ce manchon C est terminé par une crémaillère circulaire, actionnée par le bouton B et le pignon P.

On comprend qu'en tournant ce pignon la crémaillère du manchon avance ou recule, suivant le sens donné, et le pivot qui s'engage dans la rainure hélicoïdale du cylindre du disque D force ce dernier à se déplacer sur le disque D′ d'une quantité dépendant de l'inclinaison du pas de vis. Ce pas de vis est calculé de façon qu'à une course totale de va-et-vient du manchon correspond un recouvrement complet des deux disques l'un sur l'autre, interceptant ainsi toute lumière ou ouvrant complètement tous les créneaux.

Les recouvrements ou les ouvertures, à quelque degré que ce soit, peuvent avoir lieu, les disques étant en mouvement ou en repos. Au bout de l'axe du pignon P, en B, une aiguille indique, sur un cadran divisé en 180°, l'importance exacte de chacune des ouvertures.

En O (*fig.* 2), un oculaire est placé au sommet d'une lunette, en forme de cône, bouchée à l'autre extrémité par un verre dépoli. Dans l'axe vertical de cette lunette se trouve, au delà du verre dépoli, un écran opaque E destiné à séparer les rayons émis par la lumière type des rayons provenant de la source à étudier. Cet écran peut, au moyen du bouton *c* et de la crémaillère *h*, avancer ou reculer, et rendre ainsi les deux images tangentes sur le verre dépoli, de manière à fournir une estimation aussi commode que précise.

Un autre bouton *b* permet de rapprocher plus ou moins les deux plaques *e*, *e′* qui servent à augmenter ou à diminuer le champ lumineux, au gré de l'observateur.

Digitized by Google

Pour se servir de l'instrument, on place les deux lumières à une distance égale l'une et l'autre du verre dépoli et sous un angle tel que l'écran E forme la bissectrice de cet angle. De la main droite, on tourne la manivelle M à environ un tour par seconde, ce qui donne pour les disques D, D' une vitesse de 30 tours. On fixe l'œil à l'oculaire O, et de la main gauche, à l'aide du bouton B, on ouvre ou on resserre les échancrures des disques, pour obtenir sur le verre dépoli deux images lumineuses de même intensité. Les rayons de la lumière type placée à la droite arrivent directement sur le verre dépoli; ceux émis par la source à étudier et passant par les échancrures données aux disques arrivent à la gauche.

L'aiguille du cadran indique le nombre de degrés de l'ensemble des ouvertures. Le rapport de ce nombre à la circonférence (360°) donne le chiffre d'unités en fonction de la lumière type. Si ce quotient est 3, 4, 5, par exemple, cela revient à dire que la source étudiée est 3, 4, 5 fois plus intense que la lumière prise comme unité.

On peut objecter que cette évaluation, qui repose, comme dans tous les autres photomètres, sur l'appréciation de l'œil de l'observateur, sera quelquefois sujette à erreur. Le cas peut certainement se présenter; mais il sera toujours loisible de corriger les observations en les refaisant plusieurs fois, ce qui peut avoir lieu très aisément et très rapidement avec cet appareil, par ce motif qu'on n'a pas à déplacer les lumières.

La lentille à foyer variable du Dr Cusco; par M. C.-M. Gariel.

Depuis que l'étude de la vision a été entreprise d'une manière rationnelle, on sait qu'il faut placer au premier rang, parmi les propriétés qui distinguent l'œil des autres instruments d'optique propres à donner des images réelles, celle que l'on désigne sous le nom d'*accommodation*, et qui, par des modifications dans les courbures de la lentille cristallinienne, amène des changements notables dans la grandeur de la distance focale et permet, entre certaines limites, de maintenir sur la rétine les images nettes d'ob-

Digitized by Google

jets dont la distance à l'œil vient à varier. On sait que cet effet, dont nous n'avons pas à rechercher ici les conditions physiologiques, est dû à une déformation du cristallin qui amène une légère augmentation de courbure de la face antérieure, ainsi qu'un déplacement et une augmentation de courbure notable de la face postérieure. Jusqu'à présent, on n'était pas arrivé à construire des lentilles subissant des déformations analogues et donnant naissance, par conséquent, aux mêmes effets. M. le Dr Cusco, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, à Paris, est parvenu, dès 1879 ([1]), à obtenir une lentille à distance focale variable. Depuis cette époque, il l'a étudiée et perfectionnée, et j'ai l'honneur aujourd'hui de la présenter en son nom à la Société de Physique.

La lentille du Dr Cusco utilise l'élasticité du verre et, en particulier, ce fait qu'une lame de verre appuyée à ses extrémités et supportant en tous ses points une pression uniforme prend une courbure régulière qui, pour des flexions limitées, ne s'écarte pas beaucoup d'une courbure circulaire.

L'appareil consiste essentiellement en un tambour métallique, de forme cylindrique, fermé à ses deux bases par deux lames de verre choisies parmi les plus régulières et maintenues contre les parois latérales par une fermeture étanche, à l'aide de caoutchouc. L'intérieur du tambour peut être isolé à l'aide d'une tubulure munie d'un robinet; sur cette tubulure on place un tube qui apportera les variations de pression et qui, d'autre part, met l'appareil en communication avec un manomètre à eau ou à mercure, suivant le degré d'exactitude que l'on veut atteindre dans les mesures. La pression est produite par l'action d'une poire en caoutchouc contenant aussi de l'eau et qu'il suffit de presser pour obtenir une variation notable : on peut d'ailleurs combiner la pression plus ou moins forte obtenue directement ainsi avec celle qui résulte des déplacements verticaux de la poire, et, par suite, on peut expérimenter dans des limites assez étendues.

Lorsque l'on veut se servir de cet instrument, on le remplit entièrement d'eau ou d'un liquide transparent, que l'on introduit par une ouverture spéciale que l'on ferme ensuite hermétiquement. Si le liquide n'est alors soumis à aucune pression, les lames restent

([1]) L'Académie de Médecine, mars 1879.

Digitized by Google

planes et l'appareil constitue une masse réfringente à faces parallèles; on est assuré que cette condition est remplie lorsque, dans le manomètre à eau, le niveau du liquide est à la hauteur du centre de la lentille. On peut alors vérifier facilement que le système ne produit aucune action convergente ou divergente, en s'assurant que, placé devant une lentille, il ne modifie pas sa distance focale.

Si l'on exerce alors une pression sur le liquide, même faible, le verre, en vertu de son élasticité, cède quelque peu, et d'autant plus facilement que l'on considère des points plus éloignés de la périphérie, de telle sorte que les deux lames deviennent courbes. Si ces lames ont la même élasticité dans tous les sens, les surfaces obtenues sont de révolution, et si, ce qui arrive en général, les lames ont la même épaisseur, les deux courbures sont égales : on a donc une lentille biconvexe analogue, comme forme, à celles qu'on emploie le plus souvent. On pourrait évidemment, si cela présentait quelque intérêt, avoir une lentille à courbures inégales, en mettant sur une des faces un verre plus épais que sur l'autre.

L'effet de la pression se manifeste nettement, par exemple de la manière suivante. Ayant obtenu une image réelle sur un écran à l'aide d'une lentille convergente devant laquelle on place l'appareil de M. Cusco, si l'on vient à exercer une pression à l'intérieur de celui-ci, l'image se trouble immédiatement, et, pour l'obtenir nette à nouveau, il faut rapprocher l'écran, ce qui prouve que le système optique est devenu plus convergent. On peut d'ailleurs, en augmentant encore la pression, diminuer la distance focale; il y a cependant une limite qu'il ne faut pas dépasser, car les lames se briseraient : cette limite, naturellement, dépend de la nature et de l'épaisseur du verre.

On peut obtenir des effets opposés avec cet appareil. Ramenons, en effet, la pression intérieure à être nulle, comme nous l'avons dit tout à l'heure, puis diminuons-la encore en abaissant le niveau du liquide dans le réservoir au-dessous de sa position primitive : à la hauteur de la lentille, la pression atmosphérique extérieure sera plus considérable que la pression intérieure, et, par suite, les lames se courberont vers l'intérieur, constituant alors une lentille divergente biconcave.

L'appareil, tel que nous venons de le décrire, peut être employé très avantageusement pour expliquer expérimentalement la théorie

Digitized by Google

de la vision en ce qui touche à l'accommodation; il permet aussi facilement de montrer les variations que subissent, dans l'accommodation, les images de Sanson, images produites par réflexion sur les deux surfaces de la lentille. Mais il peut être utilisé d'une manière plus précise et servir à des mesures; à cet effet, il faut qu'il soit gradué, c'est-à-dire que l'on puisse, pour un état quelconque, déterminer la distance focale ou mieux la puissance en dioptries d'après la pression lue sur le manomètre.

Pour atteindre ce résultat, M. Cusco emploie la méthode générale utilisée dans les photomètres : chercher une disposition telle que l'on obtienne une image réelle égale à l'objet. On sait alors que l'image et l'objet sont situés de part et d'autre à la même distance de la lentille et au double de la distance focale. Seulement, comme la lentille variable n'a pas une grande puissance et que son foyer est toujours assez loin, on y adjoint une lentille connue et l'on cherche la puissance du système complexe. Comme on sait que la puissance en dioptries d'un système de deux lentilles au contact est la somme algébrique des puissances des deux lentilles, on déduit facilement la puissance de la lentille variable, et par suite sa distance focale, en fonction de la pression. On construit ainsi une Table numérique ou un Tableau graphique qui servira dans toutes les expériences de mesure.

Nous ne pouvons indiquer ici toutes les applications dont est susceptible l'appareil du D[r] Cusco, et nous devons nous borner à signaler les principales. On comprend, par exemple, qu'il permettra très facilement de déterminer la puissance d'une lentille donnée en détruisant exactement l'effet qu'elle produit : ce procédé sera plus précis et sans doute plus rapide que celui qui consiste à employer successivement des verres différents et connus.

La lentille à foyer variable, remplie de liquide de réfringence convenable, pourra également être utilisée pour achromatiser une lentille donnée et remplir, dans ce cas, le même rôle que fait le prisme à angle variable pour l'achromatisme des prismes.

Mais c'est surtout au point de vue de la physiologie de la vision que cet appareil paraît appelé à rendre des services, et c'est dans ce but que les lentilles sont souvent accouplées de manière qu'il y en ait une devant chaque œil. On comprend, sans que nous puissions insister ici, que, grâce à la variation immédiate de puissance,

Digitized by Google

il soit possible de suivre l'accommodation dans toutes ses modifications; que, en particulier, il sera facile d'exécuter des recherches sur la durée de ce phénomène, etc. Ce sont là des questions spéciales qu'il nous suffisait de signaler rapidement.

Ajoutons, pour terminer, que M. le Dr Cusco se propose d'appliquer la même idée à la construction d'un miroir courbe dont on pourra faire varier la courbure entre certaines limites dans un sens ou dans l'autre : il suffira d'argenter la surface antérieure de l'une des lames de verre. L'appareil sera présenté à la Société ultérieurement.

SÉANCE DU 2 AVRIL 1880.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures.

Cette séance est consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et les appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance. Les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Accélérographe de M. Marcel Deprez, appareil pour la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. Sebert.

Télémètre. — Campylomètre; par M. Gaumet.

Effet Peltier au contact d'un liquide et d'un solide; par M. Bouty.

Illusion d'optique. Aimantation de la plaque des téléphones; par M. Silvanus Thompson.

Différence de phase qui existe entre les vibrations de deux téléphones associés; par M. Kœnig.

Nouveau brûleur à gaz de la Compagnie parisienne, présenté par M. Brisac.

Spectroscope à très grande dispersion avec inscripteur des raies; par M. Thollon.

Saccharimètre modifié. Nouvel éolipyle. Prismes composés; par M. Laurent.

Digitized by Google

Nouvelle disposition de la lampe électrique de Werdermann. Pantographe planimétrique. Nouveau photomètre; par M. Napoli.

Spectroscope pour l'étude de la fluorescence; par M. Lamansky.

Galvanomètre à aiguilles flottantes. Pile au chlorure de chaux. Pile secondaire actionnant une bobine d'induction. Radiomètre électrique; par M. Niaudet.

Phonographe à plateau; par M. Saint-Loup.

Microscope polarisant; par M. Lutz.

Influence de l'électricité sur l'évaporation; par M. Gernez.

Micromètre vibrant; par M. Mercadier.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. Guébhard.

Expériences de M. Crookes.

Renversement des raies; par M. A. Duboscq.

Compression des mélanges gazeux. Préparation de l'acide carbonique liquide; par M. Cailletet.

Balance d'induction de M. Hughes. Appareil de M. Cailletet (expérience de M. Ogier sur la compression d'un mélange d'hydrogène phosphoré et d'acide chlorhydrique). Boussole Pouillet pour la mesure des forts courants, présentée par M. Ducretet.

Photomètre pour mesurer la lumière diffuse; par M. Javal.

Rhéomètre à indications rapides et appareil mesurant la quantité d'énergie qui passe dans un circuit. Synchronisme électrique de deux mouvements quelconques. Machine et moteur électromagnétique modifiés; par M. Marcel Deprez.

Frein funiculaire; par M. Carpentier.

Expériences de démonstration d'optique. Section longitudinale des faisceaux; par M. Gariel.

Lentille à courbures variables; par M. Cusco.

Emploi du spectrophotomètre pour la mesure des hautes températures; par M. Crova.

Nouvelle disposition du régulateur électrique de M. Serrin.

Nouvel électromètre capillaire. — Producteur d'électricité, basé sur la capillarité; par M. Debrun.

Éclairage de l'intérieur des cavités du corps; par M. Trouvé.

Expériences d'éclairage électrique avec les lampes Werdermann.

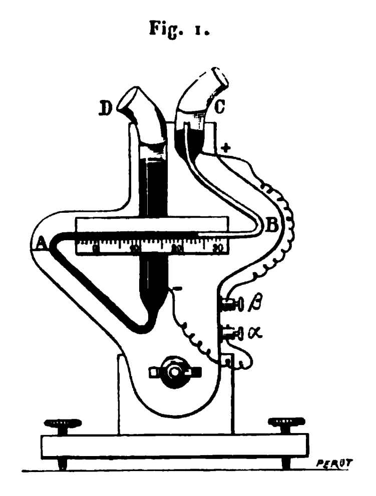
Digitized by Google

Note sur un nouvel électromètre capillaire; par M. E. Debrun.

En répétant la première expérience de M. Lippmann, je me suis aperçu que, dans un tube de $0^m,001$ de diamètre, le changement de niveau du mercure était de $0^m,003$ pour une variation de force électromotrice de 1 volt (de 0^{volt} à 1^{volt}). Or, pour rendre l'appareil sensible, il suffisait d'amplifier les déviations de la colonne. M. Lippmann a employé un microscope; le problème est dans ce cas parfaitement résolu. J'ai pensé, au contraire, qu'en inclinant le tube suffisamment on aurait la sensibilité que l'on désirait. Dans mes premiers essais j'employais des tubes cylindriques; dans ce cas, le zéro était un peu incertain. Maintenant j'emploie des tubes coniques et l'électromètre fonctionne à souhait.

J'ai donc construit l'appareil suivant (*fig.* 1). Un tube de verre

Fig. 1.



de $0^m,007$ de diamètre a été étiré de manière à présenter un tube capillaire d'un diamètre d'un fort millimètre environ, légèrement conique, et de $0^m,2$ de long. Le tube capillaire a été retourné en zigzag, comme dans la figure ci-jointe. La branche capillaire AB doit avoir environ $0^m,1$ de long et fait à peu près un angle de 8° à 10° avec le tube vertical. A la quatrième courbure le tube capillaire a été redressé de manière à être vertical et il traverse le fond

Digitized by Google

d'une cuvette en verre de $0^{m},007$ de diamètre. Dans le fond est mastiqué le fil de platine β qui amènera l'électricité positive. Un fil α destiné à amener l'électricité négative est soudé dans le tube D. Derrière le tube AB est placée une planchette divisée en millimètres.

Toute cette verrerie est placée sur un support articulé qui permet de donner à AB l'inclinaison que l'on désire, car c'est uniquement de cette inclinaison que dépend la sensibilité de l'électromètre.

Pour remplir l'électromètre, on réunit α et β par un fil métallique, on ajoute de l'eau acidulée au dixième dans C jusqu'en dessus de l'extrémité du tube capillaire, puis on ajoute dans C quelques gouttes de mercure pur. Ensuite on verse un peu de mercure dans le tube D; en soufflant en D on chasse la bulle d'air comprise dans le tube et en aspirant modérément on mouille les parois du tube capillaire; il ne reste plus qu'à ajouter par le tube D du mercure goutte à goutte jusqu'à ce que les trois quarts du tube AB soient remplis. On ajoute en D quelques gouttes d'eau acidulée pour préserver le mercure du contact de l'air. L'instrument est alors prêt à fonctionner.

Cependant on peut le trouver trop ou pas assez sensible; il suffit alors d'incliner le tube dans un sens ou dans l'autre, ce qui permet facilement d'atteindre une sensibilité de plus de $\frac{1}{300}$ de volt. Toutes ces précautions sont absolument indispensables, mais ne présentent aucune difficulté. Si l'on ne veut prendre cet instrument que comme un électroscope simple, il n'y a rien autre chose à faire; mais, si l'on veut s'en servir comme d'appareil de mesure, il faut le graduer par parties d'égale force électromotrice. Le procédé de graduation le plus simple est le suivant. On prend des éléments ainsi composés : amalgame de zinc, sulfate de zinc, sulfate de cadmium, amalgame de cadmium. Ces liquides se trouvent dans des vases séparés et sont réunis par un tube capillaire très fin. On a ainsi des éléments dont la force électromotrice est de $0^{volt},281$. Alors on introduit 1, 2, 3, 4 de ces éléments dans le circuit et l'on note à chaque fois la division à laquelle s'arrête le mercure. Il ne reste plus qu'à construire une courbe sur laquelle on se reportera quand on en aura besoin.

Digitized by Google

Mesure spectrométrique des hautes températures; par M. A. Crova.

L'étude de l'énergie des radiations émises par les sources calorifiques et lumineuses ([1]) m'a conduit à proposer une méthode purement optique pour la détermination des hautes températures.

Deux corps solides ou liquides incandescents, ayant même pouvoir d'irradiation, ont en effet des températures égales lorsque les spectres des lumières qu'ils émettent sont identiques dans toute leur étendue, c'est-à-dire lorsque les intensités de toutes les radiations simples qui les composent sont rigoureusement égales, après que, par l'emploi de deux nicols, on aura affaibli le plus intense, de manière à rendre égales entre elles les intensités de deux radiations simples de même longueur d'onde, prises arbitrairement dans les deux spectres.

Prenons pour terme de comparaison la lumière d'une lampe à modérateur; mesurons, au moyen d'un spectrophotomètre, le rapport des intensités d'une même radiation rouge λ, prise dans la source de température inconnue et dans la flamme de la lampe; mesurons de même le rapport des intensités d'une radiation verte λ', prise dans ces deux mêmes sources. Si nous ramenons les intensités du rouge λ à être égales entre elles dans les spectres des deux sources, le rapport des intensités du vert λ' dans ces deux mêmes sources sera un nombre supérieur ou inférieur à l'unité, selon que la température de la source considérée sera plus élevée ou plus basse que celle de la flamme de la lampe. Si donc nous faisons arbitrairement égale à 1000 la température de la flamme de la lampe, celle de la source sera exprimée par un nombre supérieur ou inférieur à 1000 dans l'un ou dans l'autre cas. Si la température de la source lumineuse varie, les nombres ainsi obtenus constitueront une échelle optique nécessairement arbitraire des températures, dans laquelle la valeur du degré dépendra de la température de la

---

([1]) *Journal de Physique*, t. VII, p. 357. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVII, p. 322 et 979.

Digitized by Google

flamme de la lampe prise pour terme de comparaison et d'une certaine fonction des longueurs d'onde λ et λ'.

J'établis la correspondance de cette échelle avec celle des températures, exprimées en degrés C., d'un thermomètre à air, à réservoir en porcelaine, porté à divers degrés d'incandescence et pris comme source de radiations. La température de la flamme de la lampe s'obtient en élevant celle du thermomètre à air au degré où les deux spectres sont identiques dans toute leur étendue. La Table étant ainsi dressée, il suffira d'une simple mesure spectrométrique pour mesurer exactement la température d'un corps incandescent (fourneaux industriels, flammes des divers combustibles, soleil, étoiles, etc.) dont la lumière est due à l'irradiation d'un corps solide ou liquide, porté à une température élevée.

En adoptant comme radiations fixes celles dont les longueurs d'onde sont 673 et 523, voici les nombres qui représentent, *dans cette échelle arbitraire*, les *degrés optiques* de quelques sources lumineuses :

Lame de platine chauffée au rouge dans une lampe à gaz	524
» » au rouge blanc dans un chalumeau à gaz	810
Lampe à modérateur alimentée par l'huile de colza	1000
Bougie stéarique	1162
Gaz de l'éclairage (bec d'Argand)	1373
Lumière oxyhydrique (oxygène et gaz de l'éclairage sur la chaux)	1806
Lumière électrique (60 éléments de Bunsen)	3060
Lumière solaire	4049

Le carbone, le platine et la chaux incandescents, qui émettent la lumière de ces diverses sources, ont même pouvoir d'irradiation ; M. E. Becquerel a démontré, en effet, cette identité pour la porcelaine, le platine, le carbone et la magnésie ([1]).

Cette méthode pourra permettre d'étendre l'échelle des températures au delà de celles que peut mesurer le thermomètre à air et qui ne peuvent dépasser celle où la porcelaine se ramollit. Au-dessous de cette limite, il sera facile d'établir sa correspondance avec l'échelle centigrade ; au delà elle restera nécessairement arbi-

([1]) E. Becquerel, *La lumière*, t. I, p. 78.

Digitized by Google

traire, mais toujours comparable à elle-même, et fournira des points de repère rigoureux ; on pourra l'étendre aux limites où la chaleur est assez forte pour volatiliser les corps les plus réfractaires ; on peut même espérer aller au delà, en appliquant la méthode à la comparaison des intensités des radiations simples émises par les vapeurs incandescentes, pourvu que leur spectre ait plus d'une raie lumineuse.

SÉANCE DU 16 AVRIL 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Cusco (le Dr), Chirurgien à l'Hôtel-Dieu.
Hospitalier, ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris ;
Leclerc, à Margny-lès-Compiègne (Oise) ;
Stoletow, professeur à l'Université de Moscou (Russie) ;
Weyher, ingénieur, à Pantin.

M. Niaudet, à propos de l'audiphone de M. Colladon qu'il montre à la Société, cite des observations d'où il résulterait qu'il y a avantage à ne pas arrondir les angles supérieurs de l'appareil.

M. Bertin présente une balance d'induction et un sonomètre de M. Hughes construits par M. Ducretet.

M. Bertin présente également une nouvelle disposition de la boussole des tangentes, construite par M. Ducretet.

M. Trouvé rappelle les considérations qui l'ont conduit à la construction de son stylet électrique, destiné à révéler l'existence d'une balle dans les chairs. Il fait des expériences à l'aide de son polyscope, destiné à éclairer les cavités naturelles ou artificielles du corps. La source électrique est une pile secondaire de M. Planté.

Digitized by Google

Sur la balance d'induction et le sonomètre électrique de M. Hughes; par M. A. Bertin.

M. Hughes a décrit, dans le *Philosophical Magazine* du mois de juillet 1879 [1], un double instrument qui donne lieu à des expériences extrêmement curieuses.

Son principe est le même que celui des *inductomètres différentiels* connus dans la Science depuis quarante ans. La balance d'induction, avec ses quatre bobines, est une modification de l'*inductomètre* de Dove [2], et le sonomètre, qui n'en a que trois, est la reproduction de l'*inductionomètre* de Matteucci [3]. Mais l'instrument de mesure a été changé; M. Hughes a substitué au galvanomètre le téléphone, qui, d'abord, est plus sensible et qui, ensuite, ne confondant pas les deux courants induits direct et inverse, permet de supprimer l'emploi du disjoncteur.

I. — Balance d'induction.

Les *fig.* 1, 2 et 3 représentent l'appareil complet avec tous ses accessoires [4]. La *fig.* 1 en est la projection horizontale; on y voit la balance en A et B, et en S*o* le sonomètre, dont nous ferons d'abord abstraction. La *fig.* 2 est une coupe verticale de la balance; la *fig.* 3 donne le détail des accessoires.

La *balance d'induction* se compose de deux paires de bobines A et B (*fig.* 1 et 2) (dans la *fig.* 1 il faut d'abord supposer enlevée la règle R qui est sur le support B). Les bobines inférieures *a* et *a'* (*fig.* 2) sont les bobines inductrices; elles sont reliées par un fil caché sous la table. Le sens de l'enroulement du fil y est tel qu'un courant qui les parcourt tourne dans les deux bobines en

---

[1] *Philosophical Magazine*, 5e série, t. VIII, p. 50 à 56.

[2] *Annales de Poggendorff*, t. XLIX, p. 72; 1840. — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. IV, p. 336.

[3] Présenté au Congrès de Florence, en 1841. *Voir* les *Leçons sur l'induction* de Matteucci, p. 45.

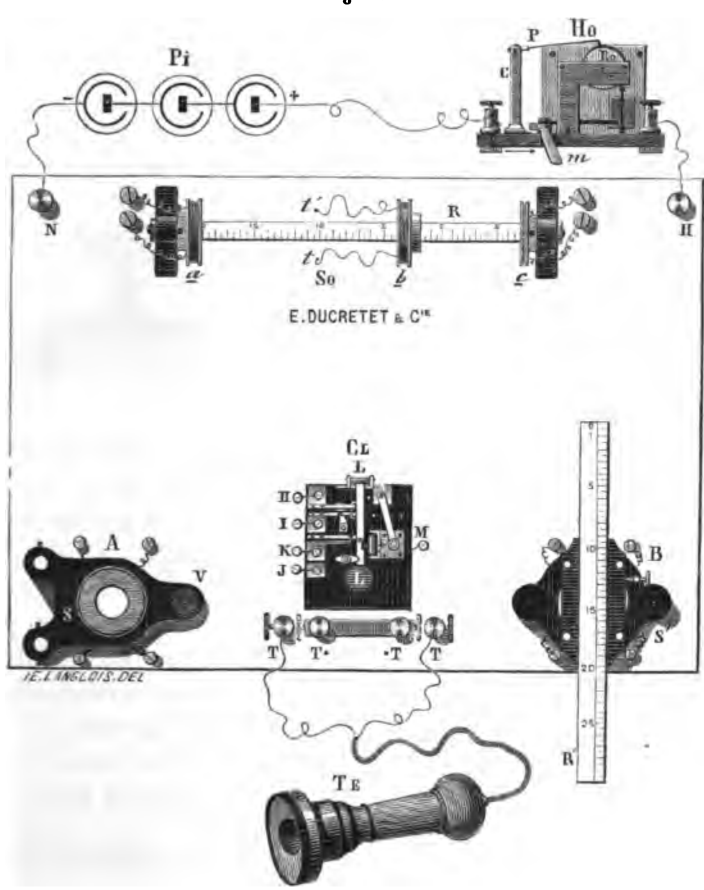
[4] Ces figures ont été prêtées par M. Ducretet, qui m'a procuré le nouvel appareil et qui a commencé à le reproduire.

Digitized by Google

sens contraires. Ce courant leur est amené, par des fils également cachés, de la pile P*i* (*fig.* 1), composée de 3 éléments Daniell, et il est interrompu par une roue dentée, mue par un mouvement d'horlogerie H*o*. Ce mouvement fait tourner d'une vitesse uni-



Fig. 1.



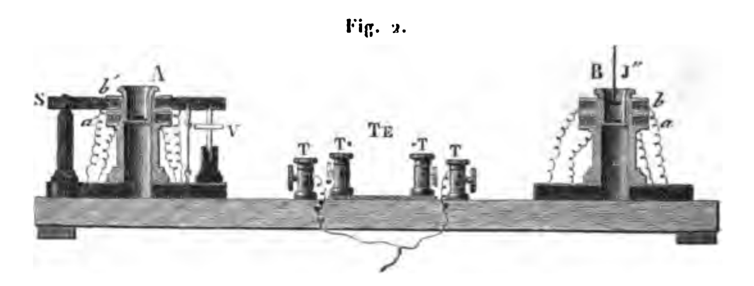
forme la roue dentée, qui communique avec l'un des pôles de la pile, pendant que l'autre pôle est attaché à un petit ressort en platine *p* qui frotte contre les dents de la roue. Quand l'horloge est en mouvement, le courant est successivement ouvert et fermé dans les deux bobines inductrices *a* et *a'*.

Au-dessus de ces bobines s'en trouvent deux autres *b* et *b'* (*fig.* 2)

Digitized by Google

qui reçoivent les courants induits; elles sont reliées entre elles par un fil, toujours caché sous la table, de telle sorte qu'un même courant les parcourrait en tournant dans le même sens. Leurs extrémités libres communiquent avec les boutons T, T, auxquels on attache les fils du téléphone T*e*; les bornes T, T permettent l'adjonction d'un second téléphone. Les bobines inductrices *a* et *a'* étant de sens contraires, les courants induits dans les bobines *b* et *b'* sont toujours de sens contraires, et le téléphone est silencieux si les deux courants induits sont égaux. Cette condition de silence n'est pas

Fig. 2.



obtenue immédiatement, parce que l'égalité des bobines n'est pas absolue; mais on peut toujours la produire en agissant sur la vis V, qui éloigne ou rapproche la bobine induite *b'* de la bobine inductrice *a'* : c'est toujours par là qu'il faut commencer.

On a cherché à rendre égales les deux bobines induites et les deux bobines inductrices; mais il n'est pas nécessaire que les premières soient égales aux secondes. C'est seulement une condition de maximum pour l'induction, qui est toujours proportionnelle au produit des nombres de spires des deux bobines agissant l'une sur l'autre. Les dimensions choisies par M. Hughes sont les suivantes : chaque bobine porte 100^{m} du fil n° 32; elles sont en buis; leur diamètre intérieur est de 3^{cm}, l'extérieur de $5^{cm},5$; leur épaisseur est de 1^{cm}, et dans chaque groupe A et B elles sont séparées par un intervalle de 5^{mm}. Pour que les deux groupes ne puissent pas réagir l'un sur l'autre, l'auteur conseille de les éloigner de 1^{m}; en réalité, leur distance n'est que la moitié de celle-là dans l'appareil qu'il nous a envoyé.

M. Hughes s'est proposé d'étudier à l'aide de la balance l'influence des masses métalliques sur l'induction. Cette influence a déjà fait l'objet de nombreux travaux qui commencent à Arago (1824) et

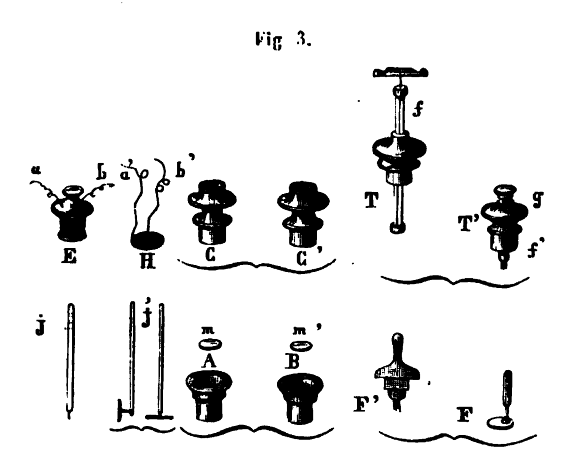
Digitized by Google

finissent à Verdet (1851); elle se manifeste d'une manière inattendue dans les nouvelles expériences. Nous allons les passer en revue.

On voit en Cl (*fig.* 1) un organe très compliqué : c'est la *clef*. Elle n'est utile que pour mettre en communication successivement la balance et le sonomètre avec la pile. Qu'il nous suffise de savoir qu'en poussant la languette M, de manière que son extrémité libre repose sur le bouton métallique qui est à gauche, le circuit inducteur de la balance est fermé. Si ensuite nous poussons l'arrêt *m* de l'horloge, celle-ci se met en mouvement et le courant inducteur est interrompu régulièrement. Enfin mettons le téléphone à notre oreille et rendons-le silencieux en agissant sur la vis V ; nous serons prêts pour expérimenter.

Expérience 1. — Plaçons dans les deux groupes de bobines A et B (*fig.* 1 et 2) les deux godets en buis A et B (*fig.* 3). Si nous

Fig. 3.



mettons dans le godet A une pièce de 1^{fr}, le téléphone, d'abord silencieux, deviendra très bruyant ; une seconde pièce mise en B ne le fera pas taire en général, parce que les deux pièces ne sont pas parfaitement égales, soit en poids, soit en titre, soit en température, etc. On reconnaîtra facilement quelle est celle dont l'action est moindre en en approchant une pièce de $0^{fr},50$ fixée normalement à l'extrémité d'une tige de bois J″ (*fig.* 3). D'un côté elle augmente le bruit du téléphone, de l'autre elle le diminue jusqu'à

Digitized by Google

l'anéantir : c'est de ce dernier côté que se trouve la pièce la plus faible.

La sensibilité de la balance est telle, que, si le téléphone est silencieux parce que les deux godets renferment des pièces égales, il suffira de souffler sur un des godets, ou d'échauffer légèrement une des deux pièces avec les doigts pour que le téléphone se fasse entendre. La plus petite différence de titre dans des monnaies égales en apparence se reconnaît également.

En opérant successivement sur des disques de même diamètre et de même épaisseur, on constate l'inégale action des divers métaux.

Les sons correspondant à chaque métal diffèrent non seulement par leur intensité, mais encore par leur tonalité. Ainsi le fer doux donne un son étouffé, tandis que l'acier trempé donne des sons très aigus. M. Hughes attribue cette différence entre les métaux à une différence dans la rapidité de leur action inductive.

Expérience 2. — Les masses métalliques agissent ici comme les diaphragmes que nous introduisons dans les bobines induites pour affaiblir la tension du courant induit, et ces diaphragmes eux-mêmes agissent comme une bobine intérieure, qui recevrait l'induction si elle était fermée et ne produirait aucun effet si elle était ouverte. Ce sont des phénomènes connus.

Enlevons le godet que nous avions mis en A et introduisons à sa place la bobine E (*fig.* 3), dont les bouts du fil peuvent être à volonté réunis ou séparés : s'ils sont séparés, le téléphone se taira; s'ils sont réunis, il fera entendre un bruit intense.

Expérience 3. — Répétons l'expérience avec la bobine plate H. L'effet sera le même si elle est horizontale; mais si elle est verticale, le téléphone sera silencieux, que la bobine soit ouverte ou fermée : c'est que les courants induits ne peuvent pas se produire dans un circuit perpendiculaire au courant inducteur.

Expérience 4. — La même chose a lieu avec les disques métalliques. La tige de bois J′ (*fig.* 3) est articulée à son extrémité et porte une pièce de 1fr qui lui est parallèle. Si on la place horizontalement sur le groupe A, le téléphone parlera si la pièce est hori-

Digitized by Google

zontale; il se taira si la pièce est verticale et fera entendre un son d'intensité variable pendant qu'on tournera la tige sur elle-même.

Expérience 5. — Cette influence de la position du disque peut être facilement constatée sur tous les métaux non magnétiques; mais, pour les métaux magnétiques, elle s'exerce en sens contraire. Prenons le disque F (*fig.* 3); il est en fer ou en nickel, et il porte latéralement une tige normale à sa surface. A l'aide de cette tige, je l'introduis dans la bobine A : l'effet sera très faible si le disque est horizontal, très fort au contraire s'il est vertical.

Expérience 6. — La même chose aura lieu avec une spirale plate en fer : l'effet sera très faible si la spirale est horizontale, qu'elle soit ouverte ou fermée, l'induction dans le fer étant faible; le téléphone parlera au contraire très fort si cette spirale est verticale, et il sera encore indifférent de l'ouvrir ou de la fermer.

Expérience 7. — C'est que les métaux magnétiques peuvent agir de deux manières : comme diaphragmes, si leur dimension parallèle à l'axe de la bobine est petite, et comme aimants, si cette dimension est grande. Dans le premier cas, ils diminuent l'induction, dans le second cas ils l'augmentent. Cet antagonisme est mis en évidence par l'expérience suivante.

J'introduis le disque en fer F (*fig.* 3) entre les deux bobines *a* et *b'* du groupe A: l'effet, qui était faible quand le disque était dans le centre des bobines, devient très intense. J'introduis ensuite à côté, et cette fois dans l'axe des bobines, le faisceau de fil de fer attaché au support F' (*fig.* 3) : le téléphone, qui parlait très haut, parle maintenant tout bas, et on pourrait le faire taire en soulevant un peu le faisceau de fil de fer. Il est donc prouvé que ce faisceau agit en sens contraire du disque.

Expérience 8. — La balance rend sensible des variations de magnétisme qui doivent être très faibles. On le démontre avec les deux pièces T et T' (*fig.* 3). T' contient un fil de fer qui signale sa présence en A par le bruit du téléphone; T porte un fil plus long, qui est fixé par le bas et qui, à l'aide de la manette *f*, peut

Digitized by Google

être tordu. Placé en B, le fil T n'éteint pas complètement le bruit produit par le fil T' en A ; mais il suffit de tordre légèrement le fil T pour que le téléphone redevienne silencieux.

Expérience 9. — On trouve dans ces phénomènes un moyen de mesurer la limite de sensibilité de la balance. L'introduction dans les bobines d'une tige de bois J (*fig.* 3) portant à son extrémité un petit fil de fer de 1^{mm} de long et de $0^{mm},1$ de diamètre produit dans le téléphone un bruit appréciable. C'est même un moyen de reconnaître la délicatesse d'oreille nécessaire pour ces expériences : il faut qu'elle soit sensible à l'action de cette petite quantité de fer, dont le volume n'est pas le centième du millimètre cube, et qui ne pèse pas $\frac{1}{10}$ de milligramme.

On voit à l'autre extrémité de la même tige une petite spirale en cuivre très fin, d'un poids insignifiant, et qui forme un autre test-objet pour juger de la sensibilité de l'ouïe de l'observateur.

Après ce défilé des expériences que l'on peut faire avec la balance d'induction, le lecteur doit désirer apprendre comment on peut mesurer les effets produits. M. Hughes a imaginé pour cela plusieurs méthodes, dont aucune ne paraît le satisfaire complètement. Mais la méthode préférée est celle qui s'appuie sur l'usage du sonomètre; nous sommes ainsi appelés à nous occuper de cet instrument.

II. — Sonomètre électrique.

Le sonomètre S*o* (*fig.* 1) est un inductomètre à trois bobines verticales *a*, *b*, *c*. Les deux extrêmes sont les bobines inductrices; elles communiquent entre elles et avec le circuit général par des fils toujours cachés, suivant la détestable habitude des constructeurs; elles sont tournées de manière que le courant les parcoure en sens contraires. Elles sont fixées aux extrémités d'une règle horizontale de 250^{mm} de longueur, sur laquelle court une troisième bobine *b*, qui est la bobine induite. Les extrémités de cette bobine sont attachées aux boutons *t*, *t'*, qui communiquent avec les boutons T, T auxquels est attaché le téléphone. Ces bobines ne sont plus égales. L'auteur ne donne pas d'indications sur leurs dimen-

Digitized by Google

sions : on peut seulement remarquer que la bobine *a* est la plus épaisse et la bobine *c* la plus mince ; la bobine induite *b* est d'une épaisseur intermédiaire.

On ne peut pas mettre le sonomètre dans le circuit sans agir sur la clef C*l*. La partie principale de cette clef est un levier analogue à celui des clefs de Morse. Tant qu'on n'y touche pas, la balance est dans le circuit et le sonomètre n'y est pas ; c'est le contraire qui arrive quand on abaisse le levier en pressant sur le bouton L. Rien n'est donc plus facile que d'entendre alternativement le son de la balance et le son du sonomètre.

Le sonomètre, en effet, produit un son quand le courant interrompu le traverse ; les deux bobines inductrices *a* et *c* donnent des courants induits de sens contraires dans la bobine *b*, et ces courants, en passant par le téléphone, changent son état magnétique et le font parler s'ils ne sont pas égaux. Si donc, ayant le téléphone à l'oreille, on fait glisser la bobine induite *b* sur la règle, on trouve une position pour laquelle le téléphone est silencieux. C'est là qu'est le zéro de la règle. Dans notre appareil, il est à 5^{cm} de la bobine la plus mince *c* et à 20^{cm} de la bobine la plus épaisse *a*. Si l'on éloigne la bobine *b* du zéro, le son reparaît plus ou moins fort et son intensité peut être indiquée par la division à laquelle la bobine est arrêtée.

Nous avons maintenant à comparer tous les métaux pris sous la même forme, celle de disques, et les mêmes dimensions, celles d'un schilling. Nous en mettons un dans le godet A de la balance : le téléphone donne un son produit par le métal. Pressons sur la clef : nous en entendrons un autre produit par le sonomètre, et nous le ferons varier en déplaçant la bobine induite *b*. En pressant alternativement sur la clef, nous entendrons successivement les deux sons et nous finirons par les rendre égaux. La bobine induite du sonomètre sera alors à une certaine division qui mesurera l'effet du métal : ce sera 115 pour un schilling, 52 pour un disque de fer de mêmes dimensions, 40 si c'est du plomb, etc. Cependant il ne faut pas oublier que ces mesures, que M. Hughes trouve faciles, sont en réalité très difficiles. Il arrive, je ne sais pourquoi, que les deux sons à comparer n'ont pas la même hauteur, et alors on hésite beaucoup à dire qu'ils sont égaux en intensité ; il faut certainement un apprentissage de l'oreille, que je n'ai pas eu le temps

Digitized by Google

de faire, et qui n'aboutit peut-être qu'à une illusion. Quoi qu'il en soit, voici les nombres trouvés par M. Hughes.

Je les appellerai *coefficients d'induction spécifiques*. J'ai mis à côté d'autres coefficients semblables, mais obtenus par d'autres méthodes par Babbage et Herschel et par Nobili : tous ces nombres ne s'accordent pas entre eux. Ils n'ont pas plus de rapports avec la conductibilité, dont la dernière colonne du Tableau contient les coefficients, empruntés à l'Ouvrage anglais de Latimer-Clark.

Métaux.	Coefficients d'induction			Coefficients de conductibilité électrique.
	d'après M. Hughes.	d'après Babbage et Herschel.	d'après Nobili.	
Argent pur	125	»	»	100
Or	117	»	»	78
Argent des monnaies	115	»	»	»
Aluminium	112	»	»	55
Cuivre	100	100	100	100
Zinc	80	93	30	29
Bronze	76	»	»	»
Étain	74	46	21	12.4
Fer ordinaire	52	»	»	15
Maillechort	50	»	»	12 à 16
Fer pur	45	»	»	»
Cuivre allié d'antimoine	40	»	»	»
Plomb	38	25	17	8,3
Antimoine	35	»	»	4,5
Mercure	30	»	»	1,6
Soufre allié de fer	20	»	»	»
Bismuth	10	»	»	1,2
Zinc allié d'antimoine	6	»	»	»
Éponge d'or pur	3	»	»	»
Charb. des cornues à gaz	2	»	»	»

Les nouvelles expériences de M. Hughes excitent tout d'abord l'étonnement; mais, en réalité, elles ne sont qu'une application immédiate des lois connues de l'induction.

On sait que chaque interruption successive du courant inducteur produit deux courants induits, l'un *inverse*, l'autre *direct*, qui sont égaux en quantité et inégaux en *intensité*, ce dernier mot dé-

Digitized by Google

signant le quotient de la quantité par la durée du courant. Ces deux courants se montreront donc égaux dans tous les appareils qui ne mesurent que la quantité, tels que le galvanomètre et le voltamètre, tandis qu'ils se montreront inégaux dans tous les phénomènes qui dépendent de l'intensité, tels que la commotion, l'étincelle et l'aimantation de l'acier trempé. C'est ce dernier phénomène que l'on observe avec le téléphone, dont le bruit est le résultat du changement de magnétisme de l'aimant qui lui sert de noyau par le courant induit qui circule autour de cet aimant. On peut s'assurer que cet instrument est sensible aux deux courants induits, mais qu'il parle beaucoup plus fort quand il reçoit le courant direct, celui qui correspond à la rupture du courant inducteur. Si le téléphone reçoit à la fois les courants induits dans deux bobines de sens contraires, c'est comme s'il ne recevait que leur différence, et il restera silencieux quand les deux courants seront égaux.

L'introduction d'une bobine fermée dans la bobine induite produit un effet bien connu : elle augmente la durée de l'induction et par conséquent diminue l'intensité du courant induit; son action sur le téléphone sera donc affaiblie. Le résultat sera le même si l'on remplace la bobine par une masse métallique dans laquelle puissent se développer des courants induits. Cette masse, qu'on appelle *diaphragme*, pourra avoir une forme quelconque, pourvu que ses dimensions parallèles à l'axe de la bobine ne soient pas trop petites. L'induction paraît devoir être d'autant plus facile que le corps est plus conducteur; mais elle doit dépendre d'autre chose que de la conductibilité mesurée dans des fils.

Mais si le corps introduit dans la bobine est magnétique, si c'est du fer, par exemple, les résultats seront bien différents. Le fer s'aimante par le passage du courant, et cette aimantation augmente l'induction tout entière, aussi bien la quantité que l'intensité. Tous les effets sont donc augmentés, aussi bien les effets galvanométriques que les effets téléphoniques. Seulement, si le fer agit comme aimant, il agit aussi comme diaphragme métallique ; de là une complication qu'on fait disparaître en remplaçant le noyau en fer par un faisceau de fils de fer.

Digitized by Google

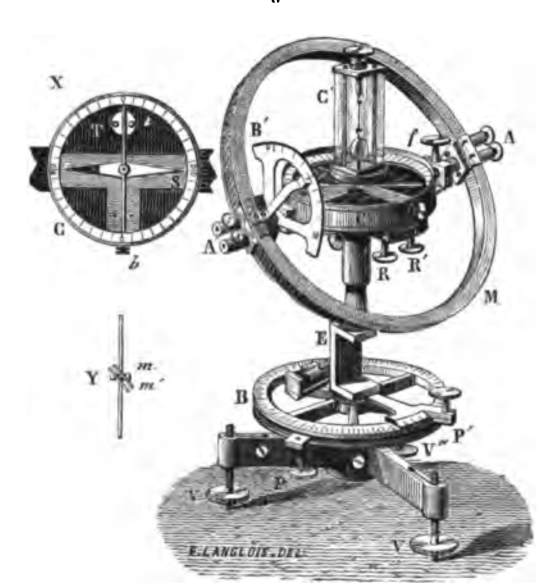
Boussole des sinus et des tangentes de Pouillet;
modifiée par M. E. Ducretet.

Cette boussole présente les particularités suivantes :

1° La boîte G qui reçoit le barreau aimanté γ est montée à coulisse sur son support et peut ainsi recevoir une position excentrique par rapport au cercle multiplicateur M, comme cela a lieu dans la boussole conique de M. Gaugain.

2° Le cercle multiplicateur M est monté à centre sur un système

Fig. 1.



de pivots suivant son diamètre AA'. On peut, en l'inclinant sur l'horizon d'un angle variable, affaiblir dans tel rapport que l'on veut l'action du cercle multiplicateur sans employer de dérivation, et par suite faire servir directement la boussole à la mesure de courants très énergiques. Un cercle gradué B' permet d'évaluer l'inclinaison du cercle M et de rendre ainsi comparables les mesures faites avec des inclinaisons différentes.

La gorge du multiplicateur M reçoit deux fils parallèles qui

Digitized by Google

aboutissent aux quatre bornes extrêmes A; par-dessus se trouve enroulée une large bande de cuivre rouge épais dont les extrémités sont fixées aux bornes A′, opposées aux premières. Cette bande de cuivre peut être impunément traversée par un très fort courant.

Un système de deux miroirs m, m', fixés sur le barreau aimanté, sert aux mesures précises, soit par projection avec le miroir concave m, soit par réflexion avec le miroir plan m'. Ces miroirs sont mobiles; ils peuvent être placés dans différentes directions. Une plaque de cuivre rouge épais sert d'amortisseur.

Explorateur électrique de M. Trouvé; par M. C.-M. Gariel.

M. Trouvé présente à la Société quelques-uns des appareils dans lesquels il a cherché à appliquer l'électricité aux besoins de la pratique médicale et chirurgicale, et d'abord il signale un explorateur qui permet de reconnaître la présence d'un projectile métallique dans une plaie. Après avoir sommairement rappelé les méthodes qui avaient été proposées antérieurement, il décrit cet appareil. Celui-ci se compose de l'explorateur proprement dit, formé par deux tiges métalliques placées à côté l'une de l'autre, mais séparées par une matière isolante, et terminées par deux pointes fines soigneusement acérées. Des fils conducteurs sont attachés à l'extrémité opposée de ces tiges et contribuent à former un circuit qui contient un petit élément (pile à renversement) et un trembleur de petites dimensions placé entre deux lames de verre, de telle sorte que l'on peut sentir, entendre et voir le mouvement du ressort qu'il comprend. Mais l'appareil tel que nous venons de le décrire ne peut fonctionner: le circuit n'est pas complet, il existe une solution de continuité entre les deux pointes. La tige à double pointe étant introduite dans la plaie, si les pointes viennent à rencontrer un corps métallique, une balle, un éclat d'obus, etc., le circuit se ferme et le trembleur entre en action. Il n'en est pas de même si les pointes appuient sur un os ou toute autre matière analogue, leur conductibilité étant trop faible. On est donc averti immédiatement de l'existence d'un fragment métallique. En faisant tourner les pointes avec une légère inclinaison, le trembleur fonc-

Digitized by Google

tionne d'une manière continue s'il s'agit du plomb, où les pointes peuvent pénétrer quelque peu ; le bruit est saccadé s'il s'agit de l'acier ou du cuivre. En approchant même à une distance notable un léger système astatique suspendu à un fil sans torsion, on distingue aisément entre ces deux derniers métaux, ce qui permet un diagnostic sûr au point de vue de la nature du corps.

Dans le cas où le corps étranger est dur et ne peut être retiré à l'aide d'un tire-fond, on se sert de pinces ; mais leur emploi est rendu plus sûr par une disposition particulière que leur a donnée M. Trouvé : les deux branches sont isolées l'une de l'autre à leur croisement, et les deux anneaux sont reliés aux fils conducteurs aboutissant à la pile et au trembleur. Si la pince est ouverte, le circuit est interrompu ; il est fermé, au contraire, si les mors sont au contact ou s'ils sont serrés contre un corps métallique, et alors, le courant passant, le trembleur fonctionne. On sait donc immédiatement lorsqu'au fond du trajet fistuleux la pince a saisi le corps métallique dont on a reconnu l'existence ou un fragment d'os ; on sait également s'il n'y a pas de fragments de tissus de membranes interposés entre la pince et le corps à extraire, car, dans l'un et l'autre cas, la résistance de ces substances organisées au passage de l'électricité est trop grande pour permettre au courant de s'établir.

Appareil de M. Trouvé pour l'examen des cavités profondes naturelles ou artificielles ; par M. C.-M. Gariel.

M. Trouvé rappelle le polyscope qu'il a montré antérieurement à la Société (séance du 6 janvier 1878) et dans lequel il obtient une source de lumière intense par l'incandescence d'un fil de platine ; l'échauffement n'est d'ailleurs pas très considérable et permet le maintien de l'appareil, dans la bouche par exemple, pendant une minute et plus, temps suffisant pour les explorations, d'autant qu'on peut renouveler celle-ci après quelques instants pendant lesquels le refroidissement s'est produit. Le courant est donné par une pile secondaire Planté, à laquelle M. Trouvé a adapté un régulateur spécial d'intensité de courant.

M. Trouvé, grâce à ce mode d'éclairage, a pu arriver à l'examen

Digitized by Google

précis des cavités profondes naturelles ou artificielles. Il se sert, à cet effet, d'une sonde métallique dont les dimensions sont calculées d'après celles du trajet qu'elle a à accomplir et qui présente à la profondeur convenable une ou plusieurs ouvertures; à ce niveau se trouve dans la sonde un prisme de verre à réflexion totale dont la face hypoténuse est inclinée à 45° sur l'axe de la sonde, l'une des faces latérales se trouvant alors perpendiculaire à l'axe du tube, et l'autre, parallèle à cet axe, ferme l'ouverture qui existe dans la paroi de la sonde. Enfin un fil de platine, faisant partie d'un circuit qui contient une pile de Planté, se trouve dans la sonde et près du prisme ; lorsqu'il est amené à l'incandescence, la lumière qu'il envoie est réfléchie et forme un faisceau qui va éclairer en dehors les points qui se trouvent en face de la fenêtre pratiquée dans la sonde. La lumière, diffusée par les parties ainsi éclairées, suit un chemin inverse, se réfléchit totalement et sort du prisme dans la direction de l'axe de la sonde, de manière à parvenir à l'œil de l'observateur placé à l'orifice. La source lumineuse se trouvant ainsi placée très près des régions à explorer, celles-ci se trouvent vivement éclairées. Ajoutons que, pour rendre l'observation plus fructueuse, M. Trouvé emploie des prismes dont les faces d'entrée et de sortie sont courbes, ce qui équivaut à l'ensemble d'un prisme à faces planes et d'une lentille.

L'emploi du fil de platine comme source lumineuse a encore permis à M. Trouvé de disposer des appareils qui sont appelés à rendre des services réels dans un assez grand nombre de cas. Ce fil, placé dans un tube ou un petit flacon en verre fermé hermétiquement et où pénètrent seulement les conducteurs qui amènent le courant, constitue une sorte de lampe ou de lanterne qui évite absolument toute crainte d'incendie et qui, par suite, peut être utilisée dans un grand nombre de cas sur lesquels il n'est pas nécessaire d'insister. On conçoit en effet qu'il y a une garantie complète, puisqu'un accident qui briserait l'enveloppe protectrice romprait les conducteurs et que l'incandescence cesserait aussitôt.

M. Trouvé termine sa Communication par une expérience frappante. Un tube de verre formant lanterne comme il vient d'être dit est introduit dans l'estomac d'un poisson. Aussitôt que le courant passe, les chairs translucides s'illuminent et le poisson apparaît lumineux au milieu de l'eau. L'effet est des plus curieux lorsqu'on

Digitized by Google

opère dans l'obscurité. L'animal ne paraît pas souffrir et peut servir à plusieurs expériences successives.

Ces diverses applications sont susceptibles d'extension et peuvent rendre de réels services dans un grand nombre de circonstances.

SÉANCE DU 7 MAI 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. de Bécordel, receveur particulier à Saint-Amand (Cher);
Bellati (Manfredo), professeur à l'Université de Padoue (Italie);
Boistel, ingénieur civil, à Paris;
Buchin, à Bordeaux;
Caraguel, avocat, à Castres;
Daly, médecin, à Angoulême;
Dujardin, à Paris;
Ferray (Édouard), pharmacien, à Évreux;
Jennet, professeur au Lycée d'Angoulême;
de Lucchi (le Dr Guglielmo), premier aide à la chaire de Physique expérimentale de l'Université de Padoue (Italie);
Sauvage, commis principal des Télégraphes, à Évreux;
Voigt, professeur au Lycée de Lyon;

M. Lechat expose à la Société ses recherches sur les vibrations à la surface des liquides.

Les figures obtenues par l'expérience sont celles de la théorie; mais la valeur de la période n'est donnée par aucune des formules calculées *a priori*. Les expériences ont mis en évidence, entre autres points, l'influence de la profondeur du vase.

Digitized by Google

M. Lippmann fait remarquer que, pour les ondes d'un faible rayon de courbure, l'influence de la capillarité peut égaler ou dépasser celle de la pesanteur.

M. Ogier expose ses recherches sur la combinaison de l'hydrogène phosphoré avec l'acide chlorhydrique à l'aide de la pression dans l'appareil de Cailletet. L'expérience est projetée sur un écran.

M. Bouty communique à la Société ses travaux sur les forces électromotrices thermo-électriques et sur le phénomène Peltier au contact des métaux et des liquides.

M. Bertin montre une pince à tourmalines munie d'une lentille d'éclairement et d'une lunette qui en font un microscope polarisant portatif et commode.

Des vibrations à la surface d'un liquide placé dans un vase de forme rectangulaire; par M. Lechat.

La théorie mathématique des petits mouvements à la surface des liquides pesants a été établie d'abord par Lagrange dans un Mémoire inséré dans la collection des *Mémoires de l'Académie de Berlin,* année 1786. Poisson a repris cette théorie dans un travail publié dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences,* année 1816.

Ces deux géomètres se proposaient surtout de traiter la question de la forme et de la propagation des ondes à la surface d'un liquide indéfini. Ils admettaient l'un et l'autre, comme condition à la surface, que toute molécule de cette surface y reste constamment pendant le mouvement.

Lorsqu'un liquide est placé dans un vase d'une petite étendue et qu'il est convenablement agité, on voit la surface se diviser en un certain nombre de parties vibrantes et les divisions rester fixes.

Les frères Weber me paraissent être les premiers qui se soient occupés de cet état particulier de la surface liquide dans un Ouvrage important publié à Leipzig en 1825. Ils l'ont désigné du nom d'*oscillation fixe.* La théorie qu'ils ont donnée du phénomène me paraît tout à fait insuffisante. Ils admettent, sans s'appuyer sur les principes de la Mécanique, que le mouvement communiqué en un point de la surface se propage uniformément et se réfléchit

Digitized by Google

sur les parois du vase, et qu'il y a interférence entre le mouvement primitif et les mouvements réfléchis. Ils ne s'occupent ni des mouvements des molécules dans le sens horizontal ni de la période nécessaire pour que telle ou telle figure se produise. Enfin ils disent, en résumé, que les figures de la surface sont celles que Chladni a trouvées pour les plaques vibrantes.

Les équations différentielles de Lagrange renferment, en principe, toute la théorie des petits mouvements dans les liquides pesants. Il m'a paru intéressant de partir de ces équations pour étudier les vibrations à la surface d'un liquide et d'examiner jusqu'à quel point les résultats de l'expérience sont d'accord avec ceux de la théorie. Je n'exposerai ici que la partie de ce travail qui se rapporte aux vases de forme rectangulaire.

Si l'on prend pour plan des xy celui de la surface libre du liquide en équilibre et l'axe des z dirigé verticalement vers le bas, qu'on place l'origine à l'un des sommets du rectangle de la surface, qu'on suppose l'axe des x dirigé suivant le côté de longueur l et l'axe des y suivant le côté de longueur l', et qu'on admette enfin que la vitesse initiale soit nulle, on trouve que le mouvement à la surface libre résulte de la superposition de mouvements simples, représentés par les équations

$$z = \frac{\gamma}{g} \mathrm{H} \cos\gamma t \cos\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'},$$

$$u = -\frac{n\pi}{l} \mathrm{H} \sin\gamma t \sin\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'},$$

$$v = -\frac{n'\pi}{l'} \mathrm{H} \sin\gamma t \cos\frac{n\pi x}{l} \sin\frac{n'\pi y}{l'}.$$

Dans ces équations, g est l'accélération due à la pesanteur; n, n' des nombres entiers positifs; H un coefficient qui dépend des données initiales et des valeurs de n, n', l, l'; u et v les composantes de la vitesse de vibration, prises parallèlement aux axes des x et des y, à l'époque t et au point dont les coordonnées sont x, y, z. Quant à γ, si l'on désigne par h la profondeur du liquide et par q l'expression

$$q = \pi\sqrt{\frac{n^2}{l^2} + \frac{n'^2}{l'^2}},$$

Digitized by Google

il est donné par la relation

$$\gamma^2 = \frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}} gq,$$

ou bien, si l'on admet avec Lagrange que la profondeur ébranlée est très faible, par la relation

$$\gamma^2 = q^2 gh.$$

Le mouvement simple correspondant à des valeurs particulières de n, n' est périodique, et la durée τ de la période est donnée par l'équation

$$\gamma\tau = 2\pi.$$

Pour que l'on puisse observer un mouvement vibratoire régulier à la surface du liquide, il faut que les mouvements simples ainsi superposés aient la même période ou que γ soit le même pour tous, ce qui ne peut avoir lieu que pour un nombre limité de systèmes de valeurs de n, n'. Alors, en réunissant les termes qui correspondent à ces systèmes de valeurs, l'équation de la surface libre est

$$z = \frac{\gamma \cos\gamma t}{g} \Sigma \mathrm{H} \cos\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'},$$

et les composantes de la vitesse de vibration prises parallèlement aux x et aux y sont

$$u = -\frac{\pi \sin\gamma t}{l} \Sigma n \mathrm{H} \sin\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'},$$

$$v = -\frac{\pi \sin\gamma t}{l'} \Sigma n' \mathrm{H} \cos\frac{n\pi x}{l} \sin\frac{n'\pi y}{l'}.$$

Si l'on pose $z = 0$ ou

$$\Sigma \mathrm{H} \cos\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'} = 0,$$

on a l'équation d'un système de lignes sur lesquelles le niveau ne varie pas avec le temps et que l'on appelle *lignes nodales*.

L'équation

$$\Sigma n \mathrm{H} \sin\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'} = 0$$

donne un système de lignes sur lesquelles la composante de la vitesse de vibration prise parallèlement aux x est nulle à toute

Digitized by Google

époque. Sur ces lignes $\left(\frac{dz}{dx}\right)$ est aussi nulle, et, par conséquent, elles renferment la série des points qui, pour chaque valeur de y, ont les excursions maxima de part et d'autre de la surface libre. Nous les appellerons *lignes ventrales* relatives aux x. L'équation

$$\Sigma n'\mathrm{H}\cos\frac{n\pi x}{l}\sin\frac{n'\pi y}{l'}=0$$

est de même celle des lignes ventrales relatives aux y.

Les points communs aux deux systèmes de lignes ventrales n'ont de mouvement que dans le sens vertical, et les excursions dans ce sens y sont maxima. Ce sont les *ventres de vibration*. Si cependant certains de ces points appartiennent aux lignes nodales, ils sont en repos absolu. On les appelle alors *nœuds de vibration*.

Fig. 1.

J'ai construit les lignes nodales et les lignes ventrales pour un grand nombre de cas des vases rectangulaires, en supposant que les conditions initiales présentent une symétrie complète par rapport aux x et aux y. La *fig.* 1 se rapporte au cas d'un vase carré, et elle a été faite pour les deux systèmes de valeurs de n, n'

$$n=4,\quad n'=2,$$
$$n=2,\quad n'=4.$$

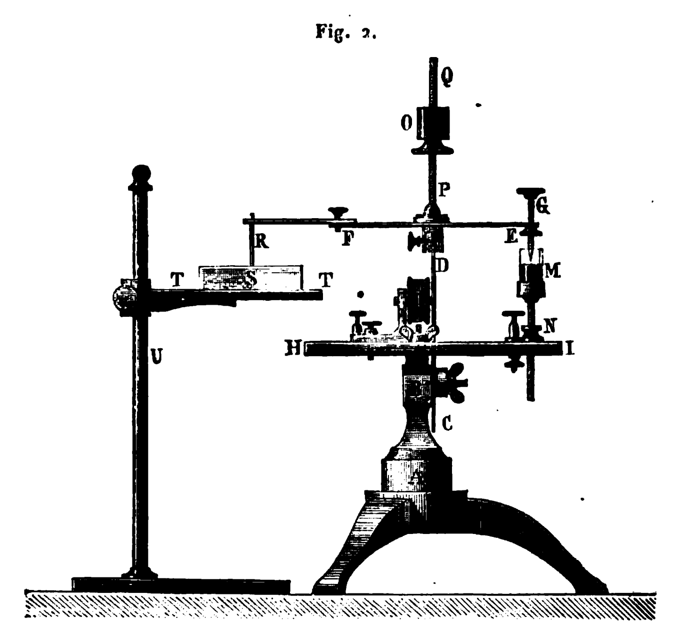
Digitized by Google

Les lignes nodales sont tracées en traits pleins, les lignes ventrales du premier système en tirets et celles du second système en tirets séparés des points.

Il s'agissait maintenant de vérifier les conséquences de la théorie.

J'ai fait construire, dans ce but, une série de vases carrés et de vases rectangulaires. Les uns sont faits avec des lames de glace; les autres sont en bois. Ces derniers ont été creusés dans des blocs d'un bois bien homogène et on leur a conservé une épaisseur de parois d'environ $0^m,01$. Tous ces vases ont une profondeur bien constante. Les vases en bois ne conviennent que pour le mercure; les autres peuvent être employés pour l'eau et pour les autres liquides qui ne dissolvent pas le mastic.

Fig. 2.



J'ai cherché un procédé d'ébranlement du liquide qui permît de le faire vibrer seul, autant que possible, et qui donnât facilement la période du mouvement vibratoire. La grande épaisseur laissée aux parois des vases avait pour but d'empêcher les vibrations du liquide de se communiquer sensiblement au vase.

Sur un support en fonte très pesant (*fig.* 2) est fixé une sorte d'étau à deux vis AB, qui serre, près de son extrémité inférieure,

Digitized by Google

une lame d'acier verticale CD. A l'extrémité supérieure de cette lame s'attache une barre horizontale en cuivre EF, et l'extrémité F de cette barre porte une tige d'acier verticale R, qui agira directement sur le liquide. Le vase rectangulaire T est placé sur une tablette horizontale, au-dessous de la tige R, et le liquide affleure exactement à l'extrémité de cette tige. Si l'on met la lame CD en vibration, la tige pénètre dans le liquide et en ressort périodiquement. Les vibrations de la lame sont entretenues par un électro-aimant et par l'interrupteur à mercure G, M.

Le liquide peut ainsi être attaqué en un point quelconque de la surface. Il y aura symétrie par rapport à deux des côtés du vase si l'on prend le point d'attaque sur la bissectrice de leur angle.

Pour une même lame vibrante, on fait varier la période des vibrations au moyen de la tige à vis Q et du poids cylindrique O, mobile sur cette tige. On peut du reste, dans ce but, allonger ou raccourcir la partie vibrante et même changer la lame.

Lorsqu'on a déterminé un mouvement vibratoire à la surface d'un liquide, il est assez difficile d'apercevoir directement les divisions. Ainsi, pour le mercure, on est obligé de se placer assez loin et de regarder très obliquement, de façon à ne recevoir que la lumière diffuse. Le procédé suivant a réussi parfaitement.

On fait tomber sur la surface du liquide un faisceau de lumière presque parallèle, provenant d'une lampe ou d'un bec de gaz, et l'on place à l'opposite un écran blanc qui reçoit le faisceau réfléchi. Si l'axe du faisceau incident est perpendiculaire à l'un des côtés du vase, et que l'écran soit parallèle au même côté, on obtient sur cet écran une impression rectangulaire qui sera semblable à la surface liquide dans le cas où l'écran fera avec les rayons réfléchis le même angle que la surface liquide avec les rayons incidents. Tant que le liquide est en repos, cette impression est uniformément éclairée. Aussitôt que le mouvement vibratoire se produit, on voit apparaître des espaces plus brillants et d'autres plus sombres, et, pour des valeurs convenables de la période, les figures obtenues ont une grande netteté.

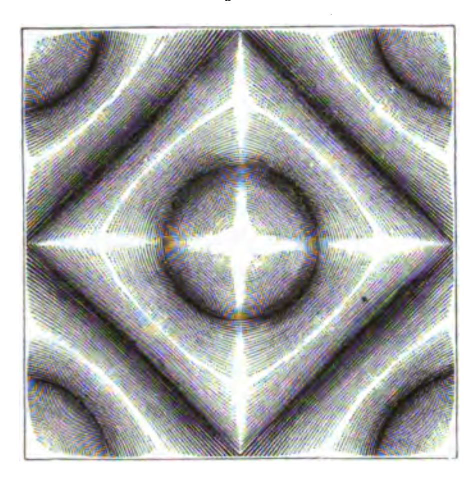
On distingue dans les figures nettes de petits espaces fortement éclairés, des lignes un peu moins brillantes et des espaces relativement sombres. Les petits espaces très éclairés correspondent aux ventres de vibration et les lignes brillantes aux lignes ventrales. Il

Digitized by Google

est facile de s'en rendre compte. Les ventres de vibration et les espaces qui les avoisinent immédiatement forment, par suite du mouvement vibratoire, de véritables miroirs courbes, tantôt concaves, tantôt convexes, alternativement. Lorsque la surface devient concave, les rayons réfléchis sont convergents et l'éclairage est très vif sur un petit espace. De là une succession d'illuminations au même point de l'écran et une sorte de mouvement vibratoire visible si la durée de la période est moindre que celle de l'impression sur la rétine. La même chose a lieu jusqu'à un certain point pour les lignes ventrales. Il en est tout autrement pour les lignes nodales, parce que, de part et d'autre de ces lignes, la surface est concave d'un côté et convexe de l'autre.

La *fig.* 3 représente la forme de la figure qu'on obtient sur

Fig. 3.



l'écran, avec un vase carré de 5^c de côté et du mercure sur une profondeur de $1^c,56$, lorsqu'on attaque le mercure au centre du carré et que la lame vibrante exécute cent quarante-deux vibrations doubles en trente secondes. Elle se rapporte à la *fig.* 1.

La position connue des ventres, des lignes ventrales et des lignes nodales fait connaître le mode de division de la surface en mouvement.

Il serait facile de projeter les figures, en disposant au-dessus de la surface liquide un miroir incliné à 45° et en recevant les

Digitized by Google

rayons réfléchis sur une lentille qui donnerait une image nette sur un écran vertical; mais il faudrait alors employer une source de lumière beaucoup plus intense et opérer dans une chambre obscure.

Lorsqu'on veut déterminer la durée de la période du mouvement vibratoire correspondant à une certaine figure de la surface, il se présente une difficulté qui tient à la production d'harmoniques. La même figure peut s'obtenir avec plusieurs périodes du mouvement de la lame vibrante. Mais, si le mouvement n'est pas trop rapide, on reconnaît facilement la vraie période qui correspond à cette figure. Il suffit de comparer le mouvement vibratoire sur l'écran avec celui de la lame et de voir s'il y a synchronisme.

La nécessité de cette comparaison m'a obligé à ne jamais employer de mouvements vibratoires très rapides. Il y a à cela un autre avantage : c'est que les divisions de la surface sont plus grandes et que les détails s'observent mieux. Mais on ne peut obtenir ainsi qu'un nombre relativement restreint de figures, celles qui se rapportent à des valeurs assez faibles de n et n'.

Dans ces conditions, pour avoir avec exactitude la durée de la période, il m'a suffi de faire usage d'une montre à secondes. J'ai pu compter jusqu'à deux cent seize périodes en trente secondes. L'opération est facilitée par les petites étincelles de l'interrupteur et le bruit sec qui les accompagne.

La comparaison des résultats de la théorie avec ceux que donne l'expérience comprend deux parties :

1° Les figures de la surface réellement obtenues sont-elles bien celles que fait connaître la théorie?

2° La durée de la période ou, ce qui est la même chose, la valeur de γ correspondant à une figure donnée, pour laquelle n et n' sont connus, est-elle fournie par l'équation

$$\gamma = q\sqrt{gh},$$

due à Lagrange, ou par l'équation

$$\gamma = \sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}} gq},$$

qu'on obtient en supposant la profondeur h quelconque, ou bien

Digitized by Google

la valeur de γ ne se représente-t-elle par aucune de ces deux formules?

Sur le premier point il n'y a aucun doute. Toutes les figures obtenues et en très grand nombre sont parmi celles que la théorie indique.

Quant à la seconde question, elle se divise naturellement en deux autres:

1° Quelle est, pour une même figure, l'influence de la profondeur du liquide?

2° Comment, pour une même profondeur, la valeur de γ varie-t-elle avec la forme de la surface?

Les expériences relatives à cette seconde question ont été faites seulement avec le mercure. On a employé des vases de forme carrée et des vases rectangulaires ayant leurs côtés dans le rapport de 2 à 3.

Pour déterminer la profondeur du liquide, on en prend le poids et l'on tient compte de l'accroissement de profondeur dû à la dépression capillaire près des parois du vase. Pour cela, on a supposé que le ménisque est une portion de cylindre droit à base circulaire et que l'angle de raccordement est de 45°. La petite erreur qui résulterait de l'inexactitude de ces deux suppositions est insignifiante. La longueur des côtés du vase doit être connue.

Lorsqu'on a obtenu une figure bien nette de la surface, la disposition des ventres, des lignes ventrales et des lignes nodales fait connaître, d'après la théorie, les valeurs de n et n' qui lui correspondent. On peut alors calculer la valeur de q, puisqu'on a

$$q = \pi \sqrt{\frac{n^2}{l^2} + \frac{n'^2}{l'^2}}.$$

Enfin, on obtient la durée τ de la période en comptant le nombre N de vibrations complètes exécutées par la lame vibrante en trente secondes. On a

$$\tau = \frac{30}{N},$$

et l'on en déduit γ par la formule

$$\gamma = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{\pi N}{15}.$$


Digitized by Google

Si l'on compare d'abord les valeurs de γ, relatives à une même figure obtenue avec le même vase, pour des profondeurs différentes, on reconnaît qu'elles vont en augmentant à mesure que la profondeur s'accroît, mais de moins en moins, de sorte que, à partir d'une certaine profondeur assez faible, un accroissement dans la profondeur n'amène plus de variations sensibles dans γ. Cette profondeur limite est d'autant moindre que q est plus grand.

Les valeurs de γ pour la même forme de la surface, mais avec des profondeurs différentes, sont parfaitement représentées par la formule

$$\gamma = a\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}},$$

dans laquelle a est un coefficient variable avec les dimensions du vase et la forme de la surface. Cette formule s'accorde, sous le rapport de la profondeur, avec la valeur théorique

$$\gamma = \sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}\, gq},$$

et non pas avec la valeur

$$\gamma = q\sqrt{gh}.$$

Si maintenant on cherche comment, pour une même profondeur, le coefficient a varie avec la forme de la surface, on reconnaît qu'il peut être représenté par la formule empirique

$$a = 0{,}07083\, q + \pi\sqrt{g}$$

et que cette valeur de a convient pour tous les vases essayés, aussi bien les vases carrés de diverses dimensions que les vases rectangulaires. On peut donc écrire, d'une manière générale,

$$\gamma = \left(0{,}07083\, q + \pi\sqrt{g}\right)\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}}.$$

Pour montrer l'accord de l'expérience avec cette formule empirique, nous remarquerons que, si N exprime le nombre des périodes

Digitized by Google

de la vibration en trente secondes, on doit avoir

$$N = \frac{15}{\pi}\gamma = \frac{15}{\pi}(0,07083q + \pi\sqrt{g})\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}}$$

ou

$$N = \left(1,0625\frac{q}{\pi} + 47,09\right)\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}};$$

cet accord est alors indiqué par les Tableaux suivants :

Vases carrés : $q = \frac{\pi}{\lambda}\sqrt{n^2 + n'^2}$.

Côté du vase, $\lambda = 0^m,1$; profondeur du mercure, $h = 0^m,0038$.

$\sqrt{n^2 + n'^2}$.	Valeurs de N observées.	Valeurs de N calculées.	Différences.
4.........	60	59,8	+ 0,2
$2\sqrt{5}$......	66	66,23	— 0,23
6.........	87	87	0
8.........	114	113,7	+ 0,3
$4\sqrt{5}$......	127	126,35	+ 0,65

Même vase. Profondeur du mercure, $0^m,072$.

4.........	75,75	76	— 0,25
$2\sqrt{5}$......	83	82,96	+ 0,04
6.........	104	103,9	+ 0,1
8.........	128	128,75	— 0,75
$4\sqrt{5}$.	139,4	139,8	— 0,4

Même vase. Profondeur du mercure, $0^m,021$.

$2\sqrt{5}$......	95	94,61	+ 0,39
6.........	111	110,96	+ 0,04
8.........	132	132,20	— 0,20
$4\sqrt{5}$......	142	142,25	— 0,25

Digitized by Google

Côté du vase, $\lambda = 0^m,05$; profondeur du mercure, $h = 0^m,0156$.

$\sqrt{4n^2+9n'^2}$.	Valeurs de N observées.	Valeurs de N calculées.	Différences.
4	132	132,2	— 0,2
$2\sqrt{5}$	142	142,25	— 0,25
6	174,25	174,75	— 0,5

Vase rectangulaire :

$$l = 0^m,072 = 3\lambda,\quad l' = 0^m,048 = 2\lambda;\quad q = \frac{\pi}{6\lambda}\sqrt{4n^2+9n'^2},$$

$$h = 0^m,0122.$$

$\sqrt{4n^2+9n'^2}$.	Valeurs de N observées.	Valeurs de N calculées.	Différences.
12	135	135,39	— 0,39
$4\sqrt{10}$	140	140,25	— 0,25
$6\sqrt{5}$	145,67	145,96	— 0,29
$4\sqrt{13}$	153,33	153,43	— 0,1
$12\sqrt{2}$	172,5	172,28	+ 0,22
18	180	179,9	+ 0,1
$6\sqrt{10}$	187	187,08	— 0,08
20	194,5	194,66	— 0,16

Les formules

$$\gamma = q\sqrt{gh},$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}\,gq},$$

données par la théorie, la première en supposant la profondeur h très petite, la deuxième en ne faisant aucune supposition sur h, résultent de la seule hypothèse que toute molécule de la surface y reste pendant le mouvement. L'expérience montre que ni l'une ni l'autre de ces formules ne représente le phénomène. Il faut donc en conclure que cette hypothèse n'est pas justifiée et que probablement, ainsi que les frères Weber l'ont démontré expérimentalement pour les ondes en mouvement, les molécules de la surface pénètrent à l'intérieur du liquide.

Digitized by Google

Sur la combinaison de l'hydrogène phosphoré avec l'acide chlorhydrique; par M. J. Ogier.

On connaît depuis longtemps les combinaisons que forme l'hydrogène phosphoré avec les acides bromhydrique et iodhydrique. On avait lieu de penser qu'on pourrait obtenir avec l'acide chlorhydrique un composé analogue : c'est en effet ce que démontre l'expérience suivante, réalisée à l'aide de l'appareil si connu de M. Cailletet pour la liquéfaction des gaz.

Le tube ordinaire de l'appareil Cailletet est rempli, sur le mercure, d'un mélange à volumes égaux de gaz chlorhydrique et d'hydrogène phosphoré pur; il convient d'employer des tubes de diamètre assez large. La courbure inférieure est remplacée par un ajutage mobile, ce qui permet d'introduire facilement les gaz comme dans une éprouvette ordinaire.

En comprimant le mélange, à $+14^{\circ}$, vers 20^{atm}, la combinaison a lieu, et l'on voit apparaître de petits cristaux jaunâtres, très brillants, assez semblables à ceux que fournit le bromhydrate. Par une compression suffisante, les deux gaz disparaissent entièrement si le mélange a été bien fait, et le tube reste tapissé d'une paroi cristalline, sans trace de liquide.

Si l'on échauffe la partie supérieure du tube en l'enveloppant d'eau tiède, la compression détermine la formation d'une couche liquide : c'est ce qui a lieu dès la température de $+20^{\circ}$.

Si on laisse refroidir lentement le tube, l'appareil étant maintenu sans fuite vers 60^{atm} ou 70^{atm}, de manière à obtenir seulement une petite couche de liquide, il vient un moment où la combinaison se forme à l'état cristallin et d'une manière lente; un vide partiel se fait alors dans le tube, et le mercure monte : dans ces conditions, le volume des cristaux peut être assez considérable.

La formation du liquide peut être aussi réalisée sans échauffement extérieur du tube; il suffit de comprimer brusquement. La chaleur dégagée est alors suffisante pour maintenir le tout à l'état liquide pendant quelques instants.

Le froid détermine de même la formation du composé solide. Si en effet, avant qu'il y ait aucun dépôt de cristaux, vers 25^{atm} par

Digitized by Google

exemple, on vient à détendre le mélange gazeux, on voit se former, non pas un brouillard comme dans le cas des gaz liquéfiés, mais de petits flocons solides, très légers, qui tombent lentement les uns derrière les autres le long des parois du tube, puis disparaissent. Cette expérience est fort élégante.

La même combinaison se produit d'ailleurs sous l'influence du froid sans le concours de la pression. J'ai soumis le précédent mélange de gaz, contenu dans un tube ouvert par sa pointe sous une couche de mercure, au froid produit par l'évaporation du chlorure de méthyle liquide traversé par un courant d'air. Le dépôt de cristaux a lieu vers — 30°, presque subitement; le mercure monte alors et remplit la presque totalité du tube.

J'ai cherché à savoir si le mélange des deux gaz était accompagné d'un phénomène thermique appréciable et si, par suite, le chlorhydrate d'hydrogène phosphoré existait à l'état gazeux : les élévations de température observées ont été si faibles, qu'il serait téméraire d'en tirer aucune conclusion précise; ces essais montrent seulement que le composé dont il s'agit est, s'il existe à l'état de gaz, à peu près totalement dissocié à la pression et à la température ordinaires. Je suis arrivé à des résultats analogues en étudiant, au point de vue thermique, le mélange du gaz bromhydrique avec l'hydrogène phosphoré, l'expérience étant réalisée vers 40°, température à laquelle le système reste gazeux. On n'observe pas, dans ces conditions d'élévation, de température appréciable.

Mesure des forces électromotrices thermo-électriques au contact d'un métal et d'un liquide; par M. E. Bouty.

I. J'ai mesuré les forces électromotrices développées quand deux fils métalliques de même nature plongent dans deux portions d'un même liquide, maintenues à des températures différentes [1].

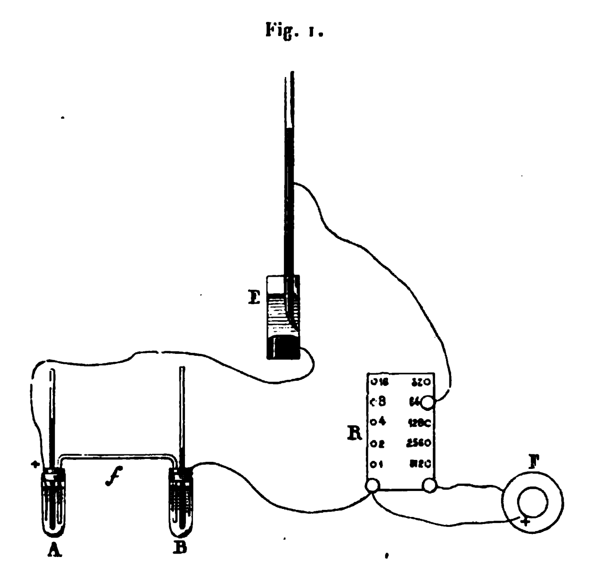
---

[1] Divers physiciens, entre autres MM. Pacinotti, Becquerel et Bleekrode, ont mesuré dans des cas particuliers, tels que celui du sulfate de cuivre, la force électromotrice thermo-électrique correspondant à une différence de température de 100°. *Voir* pour cet historique le *Journal de Physique*, t. VIII, p. 343 et 344 (1879) et t. IX, p. 229 (1880).

Digitized by Google

A cet effet, j'emploie une méthode d'opposition consistant à compenser la force électromotrice à mesurer par une dérivation variable prise sur un circuit de résistance totale connue, traversé par le courant d'un élément Daniell (*fig.* 1). La dérivation comprend :

Fig. 1.



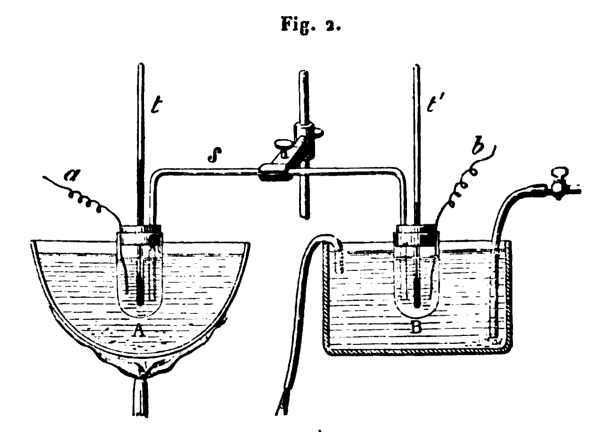
1° l'appareil thermo-électrique formé de deux tubes à expérience A et B contenant le liquide et les fils *a*, *b* (*fig.* 2); ces tubes sont réunis par un long siphon capillaire *f* (*fig.* 2) et plongent l'un dans un bain d'eau froide, l'autre dans un bain-marie dont on fait varier la température à volonté; 2° un électromètre de M. Lippmann E (*fig.* 1) sensible à $\frac{1}{10000}$ de daniell et que l'on ramène au zéro, dans chaque expérience, en réglant convenablement la dérivation. Deux thermomètres sensibles t, t' donnent la température des électrodes, et un calcul facile fournit la valeur de la force électromotrice thermo-électrique en fractions de daniell. L'emploi de l'électromètre évite le passage du courant dans la dérivation et la polarisation des fils, qui en serait la conséquence.

En général, les deux fils ne sont pas complètement identiques, et l'on observe une très petite force électromotrice dans un sens ou dans l'autre quand les deux bains sont à la même température; mais, dès qu'une différence de température s'établit, la force électromotrice varie, en général, très régulièrement; elle revient à sa

Digitized by Google

valeur primitive quand la température redevient la même de part et d'autre. Pour prévenir de graves irrégularités, il est nécessaire que les liqueurs aient été préparées avec de l'eau distillée bien privée d'air par une ébullition récente; on doit aussi s'abstenir d'élever la température au-dessus de 50° ou 60° et attendre, pour faire une mesure, que le mercure de l'électromètre se maintienne à un niveau bien fixe. L'agitation du liquide qui s'échauffe ou se

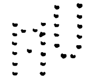
Fig. 2.



refroidit est, en effet, accompagnée de la production de forces électromotrices passagères, mais parfois très considérables, et qui sont, dans tous les cas que j'ai observés, de signe contraire aux forces thermo-électriques, qu'elles masquent en partie.

II. Je n'examinerai ici que le cas d'un métal et d'un sel du même métal en dissolution dans l'eau, et je prendrai pour type le cuivre et le sulfate de cuivre. La force thermo-électrique est, dans ce cas, rigoureusement proportionnelle à la différence de température des deux lames et ne varie pas sensiblement avec le degré de dilution du sel. Sa valeur moyenne pour 1° est de $0^{da},000688$; le cuivre chaud est à l'extérieur le pôle positif.

Les sels de cuivre, de zinc, de cadmium, de protoxyde de fer, de sous-oxyde de mercure, les chlorures d'or et de platine donnent aussi des résultats parfaitement réguliers. Dans tous les cas, le métal chaud est à l'extérieur le pôle positif. Je résume toutes les observations dans le Tableau suivant :



Digitized by Google

Métal.	Liquide.	Force électromotrice pour une différence de température de 1°.	Moyenne pour chaque métal.
		da	da
Platine........	Chlorure de platine.	0,000735	0,000735
Cuivre........	Sulfate de cuivre...	0,000688	0,000696
	Azotate de cuivre..	0,000704	
Zinc amalgamé (1)	Chlorure de zinc (D = 1,05 à 1,5) (2)	0,000696	0,000710
	Sulfate de zinc.....	0,000696	
	Azotate de zinc....	0,000692	
	Acétate de zinc....	0,000756	
Cadmium......	Chlor. de cadmium.	0,000615	0,000616
	Sulfate de cadmium.	0,000598	
	Azotate de cadmium.	0,000634	
Mercure.......	Azot. de sous-oxyde de mercure.....	0,000140	0,000140
Or...........	Chlorure d'or.....	0,000024	0,000024
Fer (3).......	Sulfate de fer ammoniacal.........	— 0,000024	0,000002
	Sulfate de protoxyde de fer.........	0,000000	
	Protochlorure de fer.	+ 0,000077	
	Acétate de fer.....	+ 0,000087	
	Tartrate de protoxyde de fer....	— 0,000127	

On remarquera : 1° que les sels d'un même oxyde donnent très sensiblement le même nombre; 2° que les nombres relatifs au cuivre et au zinc amalgamé sont à peu près identiques, d'où ce fait, connu depuis longtemps, que la force électromotrice d'un élément Daniell demeure invariable quelle que soit la température : en effet, les forces électromotrices développées aux deux pôles agissent en sens contraires pour modifier de quantités égales la force électromotrice du couple.

---

(1) Le zinc non amalgamé est plus ou moins hétérogène et donne des résultats irréguliers.

(2) Les dissolutions plus concentrées présentent une particularité sur laquelle je reviendrai dans une Note ultérieure.

(3) Les sels de protoxyde de fer doivent être soigneusement ramenés au minimum.


Digitized by Google

III. On ne retrouve pas la régularité des expériences qui précèdent lorsque c'est le métal froid qui est à l'extérieur le pôle positif. Les métaux jouissant de cette propriété sont souvent attaqués par le liquide qui les baigne, et alors on peut dire que l'électromètre ne se fixe jamais; ses oscillations équivalent, dans certains cas, à $\frac{5}{1000}$ ou $\frac{6}{1000}$ de daniell, quelquefois à plusieurs centièmes, et les mesures deviennent tout à fait incertaines. Je crois cependant devoir indiquer ici les principaux résultats :

Métal.	Liquide.	Force électromotrice moyenne pour 1° (entre 10° et 30°).	Moyenne.
Argent	Azotate d'argent	da — 0,000165	da — 0,000202
	Bain d'argent pour galvanoplaste	— 0,000240	
Fer	Perchlorure de fer	— 0,00170	— 0,00156
	Azotate de fer	— 0,00169	
	Sulfate de peroxyde de fer	— 0,00149	
	Alun de fer	— 0,00134	
Nickel	Chlorure de nickel	— 0,00208	— 0,00214
	Azotate de nickel	— 0,00234	
	Sulfate de nickel	— 0,00200	
Magnésium, Aluminium	Valeurs beaucoup plus grandes que les précédentes, mais très incertaines.		

Dans la plupart des cas la variation de la force électromotrice cesse d'être proportionnelle à la température; les nombres qui précèdent ne sont que des moyennes correspondant à des différences de température de moins de 20°.

On remarquera que les sels d'un même oxyde fournissent toujours sensiblement les mêmes nombres. La moyenne relative aux sels de protoxyde de fer est à peu près nulle, tandis que pour les sels de sesquioxyde elle a une valeur négative considérable. Aussi l'électromètre décèle-t-il avec sûreté $\frac{1}{500}$ de sesquioxyde de fer dans un sel de protoxyde. Le sulfate de protoxyde de fer commercial non purifié se comporte à peu près comme un sel de peroxyde.

Digitized by Google

Mesure absolue du phénomène de Peltier au contact d'un métal et de sa dissolution ; par M. E. Bouty.

I. Dans une Communication antérieure ([1]), j'ai rapproché du phénomène de Peltier l'élévation ou l'abaissement de température que l'on observe sur des électrodes de cuivre employées dans la décomposition du sulfate de cuivre.

Pour analyser de plus près ce phénomène, j'étudie d'abord la loi des petites variations d'un thermomètre que l'on échauffe au sein d'un liquide en repos. Ce thermomètre, sensible au $\frac{1}{200}$ de degré, a son réservoir entouré d'une spirale de fil de maillechort, de résistance connue, convenablement protégée contre l'action du liquide, et dans laquelle on fait passer un courant d'intensité déterminée. L'échauffement du thermomètre, en deux minutes par exemple, s'est montré rigoureusement proportionnel au carré de l'intensité du courant, c'est-à-dire à la quantité de chaleur versée à sa surface. Cet échauffement, toujours inférieur à 1° dans mes expériences, n'était pas modifié quand on entourait le réservoir d'une feuille de clinquant ou d'étain. On peut donc admettre que, quand le réservoir de ce thermomètre aura été métallisé et qu'il servira d'électrode au sein du liquide, les mêmes variations de sa température correspondront au dégagement des quantités de chaleur mesurées par l'expérience précédente.

II. Deux thermomètres, aussi identiques que possible et étudiés comme il vient d'être dit, sont recouverts de cuivre et plongent, à $0^m,1$ de distance l'un de l'autre, dans un grand vase rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre pur et placé lui-même dans un bain d'eau froide d'une trentaine de litres. Dans ces conditions, la température du liquide ne varie pas de $\frac{1}{100}$ de degré en cinq minutes, et les variations observées lors du passage du courant sont sensiblement indépendantes des conditions extérieures.

Quand on fait passer pendant deux minutes dans l'appareil à décomposition un courant dont l'intensité absolue est i, la quan-

---

([1]) *Bulletin de la Société de Physique*, p. 126; 1879.

Digitized by Google

tité de chaleur versée à l'électrode négative peut être représentée par

$$n = -ai + bi^2 \tag{1}$$

et à l'électrode positive par

$$p = +ai + bi^2. \tag{2}$$

Le premier terme dans ces deux expressions correspond au phénomène de Peltier, le second à la chaleur versée dans les couches liquides qui touchent le thermomètre, en vertu de leur résistance.

L'expérience a établi que les variations de température des deux thermomètres sont très exactement représentées par les formules (1) et (2), à la condition que les mesures soient faites à des intervalles assez éloignés et que les surfaces métalliques soient maintenues parfaitement nettes. Quand on substitue au sulfate de cuivre étendu du sulfate de cuivre concentré, la conductibilité électrique augmente et le coefficient b diminue; mais le coefficient a demeure invariable. Il est encore le même quand on substitue l'azotate de cuivre au sulfate.

III. W. Thomson et après lui Budde ont démontré, par l'application des principes de la Théorie mécanique de la chaleur aux courants thermo-électriques, qu'il y a une relation étroite entre le phénomène de Peltier et la force électromotrice thermo-électrique correspondante. Soient Π la quantité de chaleur versée en une seconde par suite du phénomène de Peltier et pour un courant d'intensité 1, J l'équivalent mécanique de la chaleur, $\frac{dE}{dT}dT$ la variation de la force thermo-électrique pour une élévation de température dT de l'une des soudures; on a

$$\Pi = \frac{T}{J}\frac{dE}{dT}. \tag{3}$$

Cette formule suppose que toutes les grandeurs sont évaluées en unités absolues (C. G. S). Or j'ai montré dans la Note précédente que la valeur de $\frac{dE}{dT}$ pour le cuivre est constante et

Digitized by Google

égale à $0^{da},000696$, c'est-à-dire, en volts, $0^{vo},000696.1,12$ ou $0,000696.1,12.10^8$ unités absolues de force électromotrice. On a aussi, en unités absolues, $J = 4,2.10^7$. Il en résulte pour Π, à 12° C.,

$$\Pi = \frac{285}{4,2.10^7} \cdot 0,000696.1,12.10^8 = 0,528.$$

D'autre part, j'ai reconnu que pour élever de $0^\circ,471$ en deux minutes le thermomètre que j'employais, placé au sein du sulfate de cuivre, il fallait 4,77 unités absolues de chaleur ; j'ai déterminé le coefficient a des formules (1) et (2) relatives aux échauffements produits en deux minutes, et il s'est trouvé égal à 6,018; il faut multiplier ce nombre par $\frac{4,77}{0,471}$ pour passer des échauffements aux quantités de chaleur versées en deux minutes et enfin par $\frac{1}{120}$ pour avoir la chaleur versée en une seconde par le phénomène Peltier et pour un courant d'intensité 1. On a ainsi

$$\Pi = 6,018 \frac{4,77}{0,471} \frac{1}{120} = 0,5078.$$

Le résultat de ce calcul ne diffère du précédent que de $\frac{1}{25}$ de sa valeur : c'est tout ce que l'on peut espérer, en raison de la multiplicité des données expérimentales qu'ils mettent en œuvre.

Les sels de zinc et de cadmium ont donné des résultats aussi satisfaisants. Je signalerai en particulier les observations qui se rapportent au chlorure de zinc. Par une exception remarquable, la force électromotrice thermo-électrique présentée par le zinc dans ce liquide demeure constante pour des solutions dont la densité est inférieure à 1,6 et diminue ensuite rapidement jusqu'à zéro pour la solution la plus concentrée possible. Il en est de même de l'effet Peltier.

Densité de la dissolution de chlorure de zinc.	Rapport de la force électromotrice à sa valeur maximum.	Rapport de l'effet Peltier à sa valeur maximum.
1,255	1	1
1,70	0,724	0,709
1,90	0,247	0,244
2,044	0,053	0,051

Digitized by Google

Les autres métaux se prêtent mal à des vérifications de ce genre, parce que les actions secondaires qui se produisent interviennent à la fois pour modifier l'état des surfaces et pour produire des dégagements de chaleur parasites qu'il est impossible de calculer exactement [1].

Sur une nouvelle pince à tourmalines; par M. Bertin.

La pince à tourmalines est le plus simple de tous les appareils de polarisation; mais elle doit à sa simplicité même quelques défauts, et en particulier son champ exigu, qui ne permet de s'en servir que pour un bien petit nombre de cristaux. J'ai cherché à augmenter ce champ, parce que j'ai éprouvé le besoin de le faire dans mes recherches particulières, et j'y suis parvenu en appliquant à la pince à tourmalines une partie des lentilles du microscope polarisant.

Le microscope polarisant est, comme on sait, formé de deux parties : la première se compose du polariseur et du focus; la seconde est formée par le microscope et l'analyseur. Le polariseur et l'analyseur, qui sont aux extrémités, sont des pièces d'assez grand volume; si on les remplaçait par deux tourmalines placées entre le focus et le microscope, qui seraient encore simplifiés, l'appareil deviendrait beaucoup plus petit et serait tout à fait portatif. Tel est le principe de la nouvelle pince à tourmalines. Elle est représentée en demi grandeur dans les *fig.* 1 et 2. La première est une coupe; la seconde représente la face antérieure.

Les tourmalines sont portées sur deux supports S et S′. Le premier, S est fixé dans un manche en ébonite M, que l'on tient à la main et que nous supposerons vertical. Le second, S′, peut être éloigné du premier en pressant sur un bouton B, à tige carrée, qui glisse dans une glissière à ressort G : disposition empruntée à l'ancien microscope solaire de Soleil père. C'est entre ces deux supports que l'on place les cristaux à observer.

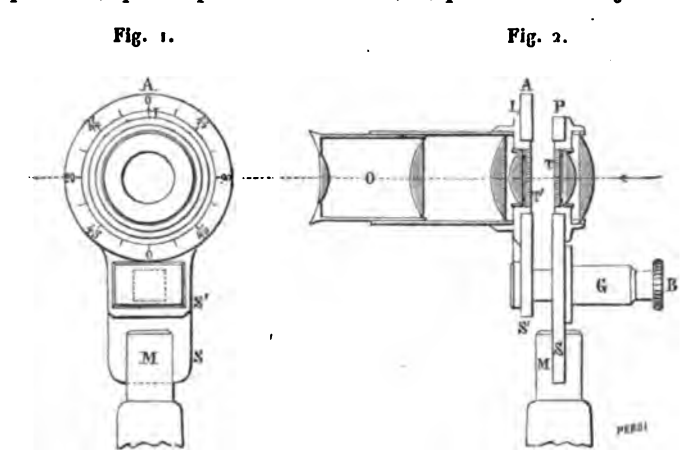
---

[1] Le Mémoire dont les deux Notes qui précèdent sont le résumé a été publié dans le *Journal de Physique*, t. IX, p. 229-241 et p. 306-320.

Digitized by Google

Le premier support, S, porte le polariseur et son focus, et, par conséquent, il doit être tourné contre la lumière. Il se termine par un anneau P, dans lequel est enchâssée la tourmaline polariseur T, qui est fixe et réglée de manière que son axe soit horizontal ou perpendiculaire au manche M. En avant de la tourmaline se trouve le focus, formé par une demi-boule L et une lentille plan-convexe L′: c'est le focus du microscope polarisant simplifié. Remarquons, en passant, que la première lentille, L, pourrait être ajoutée utile-

Fig. 1. Fig. 2.



ment aux pinces ordinaires; elle n'augmente pas le champ de l'instrument, mais elle sert de disperseur pour la lumière incidente et permet de voir les franges le soir à la lumière d'une bougie et le jour en fixant le disque solaire, ce qui leur donne un éclat incomparable.

Le disque P, qui porte tout le système, a 35^{mm} de diamètre, ce qui est à peu près la dimension des lièges carrés sur lesquels sont montés les cristaux, de sorte qu'on est un peu gêné pour tourner ces lièges entre les deux supports. Il faudra donc diminuer le diamètre de la pince, soit en rognant la lentille L′, soit en diminuant la tourmaline T, qui n'a pas besoin d'être aussi grande.

Le disque A, qui termine le support mobile S′, est plus grand que l'autre : il a 45^{mm} de diamètre. Il est représenté vu de face dans la *fig.* 2. Sa circonférence est divisée en seize parties, et la ligne du zéro est verticale ou parallèle au manche M. Ce disque est percé d'un trou rond dans lequel tourne la monture qui porte le reste de

Digitized by Google

l'appareil, savoir la tourmaline analyseur T', l'objectif du microscope, composé des deux lentilles L et L', identiques à celle du focus, et enfin un oculaire positif O. La monture de tout le système porte un trait de repère I, et la tourmaline analyseur T' est fixée de manière à avoir son axe dirigé vers ce trait, de façon qu'on peut toujours lire sur le cercle divisé l'angle des deux tourmalines. Ainsi, dans la *fig.* 2, l'index I, étant au zéro, nous indique que les deux tourmalines sont croisées. Cette connaissance de l'angle des tourmalines me paraît indispensable dans l'étude des franges, et la tourmaline analyseur devrait toujours être montée sur un cercle divisé.

L'appareil a été construit sur mes indications par M. Ducretet; mais il n'a pu procéder que par tâtonnements, le calcul d'un système aussi compliqué de lentilles me paraissant impossible. L'oculaire O, notamment, a été pris au hasard sur une lunette; il a 15^{mm} de foyer: il est possible qu'une autre longueur focale soit plus convenable. Je considère cette pince comme très imparfaite; si je la décris aujourd'hui, c'est pour la faire connaître aux constructeurs d'instruments d'Optique, dans l'espoir qu'ils parviendront à l'améliorer. Mais, telle qu'elle est, elle suffit pour l'usage auquel je la destinais, et je la regarde comme un progrès déjà notable sur l'ancienne pince à tourmalines.

Celle-ci, en effet, est très limitée dans ses applications. Pour qu'elle puisse servir à observer les franges d'un cristal, il faut que ce cristal soit suffisamment épais et que ses dimensions latérales ne soient pas trop petites, tandis qu'avec la nouvelle pince je vois très bien les franges d'un cristal qui n'a que 2^{mm} de diamètre et $\frac{1}{4}$ de millimètre d'épaisseur. Le cabinet de Physique de l'École Normale possède une belle collection de cristaux uniaxes : la plupart ne donnent rien avec l'ancienne pince, tandis que tous donnent des franges avec la nouvelle.

C'est bien autre chose avec les cristaux biaxes : aux conditions de dimension et d'épaisseur qui sont nécessaires pour les observer dans la pince ordinaire, il faut ajouter un faible écart des axes. Avec la pince ordinaire on ne peut observer que deux cristaux biaxes, le nitre et le plomb carbonaté. L'angle extérieur des axes est de $9°17'$ dans le premier et de $16°44'$ dans le second. Les axes du plomb carbonaté apparaissant à la limite du champ, on peut

Digitized by Google

donc dire que ce champ est limité à 17° dans la pince ordinaire. L'arragonite, avec ses axes à 30°50′, ne peut plus être observée, tandis qu'avec la nouvelle pince on voit très bien les franges d'une toute petite lame de calamine, dont les axes sont écartés de 78°20′. Ainsi, on peut estimer le champ de l'appareil à 78°. Je voudrais pouvoir aller plus loin : je voudrais atteindre 85° pour pouvoir observer les franges si remarquables des sels de Seignette. Je m'en contenterais et je laisserais volontiers de côté les cristaux à axes plus écartés, en les réservant pour le microscope polarisant.

SÉANCE DU 21 MAI 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. du Bourguet (Lucien), à Marseille ;
Étard (Alexandre), à Paris ;
Rivière, préparateur à l'École Normale supérieure.

M. Bouty décrit, au nom de M. Righi, une expérience présentant un cas de magnétisme rémanent de sens contraire au magnétisme temporaire. Ce phénomène se présente avec un barreau d'acier dur de $0^m,05$ de longueur sur $0^m,03$ de diamètre, aimanté dans une bobine de $0^m,05$ de diamètre par le courant de 3 éléments Bunsen.

M. Mascart décrit divers dispositifs employés pour obtenir avec l'électromètre de Thomson l'inscription des résultats. Lorsqu'une des paires de quadrants communique avec le sol et l'autre avec le collecteur de l'électricité atmosphérique, les déviations ne sont pas exactement proportionnelles au potentiel des quadrants chargés. On peut rendre le mouvement du crayon inscripteur proportionnel au potentiel, et non à la déviation, en enroulant le fil qui le conduit sur une roue en spirale. Pour les observations photographiques, on arrive au même résultat en recevant le rayon réfléchi par le miroir

Digitized by Google

de l'appareil sur une lentille cylindrique dont une moitié est divergente, l'autre convergente.

M. Goulier cite des expériences faites par lui d'où il résulte que le coefficient de dilatation d'un métal reste le même quand le métal est comprimé ou étiré.

M. Bouty rappelle que le même fait peut se conclure de ses expériences sur les thermomètres métallisés.

M. Pellat annonce que, en employant, dans ses expériences sur la force électromotrice de contact des métaux, deux lames du même métal à une température différente, on observe une force électromotrice de contact très grande par rapport à la force thermo-électrique développée.

M. Hospitalier compare les différents modes de montage employés pour exciter l'inducteur des machines à lumière électrique ; le plus avantageux de beaucoup est le montage Wheatstone, dans lequel l'inducteur est placé en dérivation dans le circuit. M. Siemens a fait des expériences concluantes à ce sujet.

M. Bertin donne la théorie des miroirs japonais, dits *miroirs magiques*.

Note sur les miroirs magiques; par M. Bertin,

Avec la collaboration de M. Duboscq.

Les peuples de l'extrême Orient, les Chinois et les Japonais, ne connaissaient pas autrefois d'autres miroirs que les miroirs métalliques, et même aujourd'hui ils n'en fabriquent pas d'autres. Cet objet de toilette est en bronze, de formes et de grandeurs diverses, mais toujours portatif. L'une des faces est polie et toujours un peu convexe, de sorte que les images sont rapetissées ; l'autre face est plane ou légèrement concave et elle est toujours ornée de figures en relief, venues à la fonte, d'un travail plus ou moins parfait. Parmi ces miroirs il en est un très petit nombre qui tirent de leur fabrication une propriété merveilleuse : lorsqu'un rayon de soleil tombe sur la surface polie, s'il est réfléchi contre un écran blanc, il transporte sur cet écran l'image des ornements qui sont sur la face postérieure. Au Japon, d'où nous viennent maintenant ces

Digitized by Google

miroirs, ni le fabricant qui les fait, ni le marchand qui les vend, ne se doutent de leurs propriétés; mais les Chinois les connaissent depuis longtemps et les apprécient; ils les appellent d'un nom qui signifie *miroirs qui se laissent pénétrer par la lumière*. Nous, nous les appelons *miroirs magiques*.

Les miroirs magiques sont extrêmement rares. On n'en trouve que quatre mentionnés dans les *Comptes rendus* de notre Académie des Sciences. Le premier a été présenté à l'Académie par Arago en 1844; le deuxième et le troisième lui ont été signalés en 1847 par Stanislas Julien et par Person, et le quatrième lui a été présenté en 1853 par Maillard. Il est vrai qu'en 1832 Brewster avait déjà donné une théorie des miroirs magiques; mais cette théorie avait été faite d'après la description d'un miroir de Calcutta, que Brewster n'a jamais eu entre les mains. Enfin, en 1864 et 1865, M. Govi [1] a présenté à l'Académie de Turin deux Notes sur de très belles expériences qu'il avait faites à l'aide de trois miroirs magiques, ce qui porte à sept seulement le nombre de ces miroirs vus en Europe depuis qu'on a pris l'habitude d'y noter les faits scientifiques. Bien peu de personnes donc avaient vu des miroirs magiques lorsque, au mois d'avril, un savant anglais, M. Ayrton, professeur à l'École Polytechnique de Yeddo, vint nous montrer plusieurs de ces miroirs qu'il avait rapportés du Japon. Il les expérimenta avec un plein succès dans les ateliers de M. Carpentier, devant une assistance malheureusement peu nombreuse; puis il repartit pour Londres et nous nous retrouvâmes probablement pour longtemps privés des merveilleux miroirs [2].

Sur ces entrefaites je reçus la visite de M. Dybowski, mon ancien élève, agrégé des Sciences physiques, qui revenait du Japon, où il avait été pendant deux ans le collègue de M. Ayrton [3]. Il

---

[1] Les deux Notes de M. Govi sont traduites dans les *Annales de Chimie et de Physique*, cahier de mai 1880.

[2] Le Mémoire de M. Ayrton est traduit dans le même numéro des *Annales*.

[3] Les Japonais ont voulu d'abord avoir des institutions scientifiques à l'instar de celles de l'Europe; malheureusement ils veulent désormais voler de leurs propres ailes et employer comme professeurs les élèves que nous avons formés. La section française de l'École Polytechnique d'Yeddo, où nous avons envoyé trois élèves de l'École Normale, doit être fermée le 1er juillet; la section allemande l'est déjà; la section anglo-américaine subsistera seule encore pour quelque temps.


Digitized by Google

rapportait comme objets de curiosité quatre *miroirs de temple*, c'est-à-dire des miroirs anciens : ils sont bien supérieurs aux miroirs actuels, la fabrication des miroirs du commerce, écrasée sans doute par la concurrence que lui font les glaces d'Europe, étant devenue très défectueuse. Nous les essayâmes ensemble ; trois étaient circulaires et le plus mince d'entre eux, qui est un disque de $0^m,153$ de diamètre, se trouva légèrement magique.

Pour essayer un pareil miroir, il suffit de le présenter au soleil et de recevoir le faisceau réfléchi sur un carton blanc, à une petite distance, 1^m par exemple. Mais, pour obtenir le maximum d'effet, il faut éclairer le miroir par de la lumière divergente ; le faisceau réfléchi est alors dilaté, puisque le miroir est convexe ; il peut être reçu à une plus grande distance et l'on aperçoit alors sur l'écran une image agrandie des ornements qui sont sur le revers du miroir. Les reliefs du dessin apparaissent en blanc sur un fond sombre. Cette image est ici confuse, parce que le miroir est mauvais ; elle serait très nette si le miroir était parfait, mais je ne connaissais aucun moyen de l'améliorer.

Ce moyen a été indiqué pour la première fois par M. Govi dans la seconde des deux Notes que j'ai citées plus haut ; il est une conséquence de la vraie théorie des miroirs magiques. Cette théorie n'a pas été établie tout d'abord.

Stanislas Julien a trouvé dans un auteur chinois du XIIe siècle de notre ère une explication des effets merveilleux de ces miroirs. L'auteur suppose que le dessin en relief qui est sur le revers est reproduit en creux sur la face polie ; on a ensuite coulé dans les tailles de la gravure un bronze plus fin que celui de la masse et on a poli la surface. C'est l'inégalité du pouvoir réfléchissant des deux bronzes qui produit l'effet magique.

La théorie de Brewster n'est pas notablement différente de cette explication chinoise ; le coulage du bronze fin est seulement supprimé. C'est le polissage qui, en effaçant la gravure, la rend invisible à la lumière ordinaire, tout en laissant au métal des variations de densité ou de pouvoir réflecteur qui rendent l'image visible aux rayons du soleil. Mais Brewster ne savait pas que la surface était amalgamée.

Cette théorie, fort heureusement, n'était pas connue en France lorsqu'on a commencé à parler des miroirs magiques, sans quoi le

Digitized by Google

grand nom de Brewster aurait peut-être égaré l'opinion. Le premier physicien français qui eut entre les mains un miroir magique, Person, en donna immédiatement la véritable explication. Il s'assura par une expérience directe que la surface polie du miroir n'était pas régulièrement convexe, qu'elle l'était seulement dans les parties correspondant aux creux de la figure du revers, mais qu'elle était plane dans les parties correspondant aux reliefs. « Les rayons réfléchis sur les parties convexes divergent et ne donnent qu'une image affaiblie ; au contraire, les rayons réfléchis sur les parties planes gardent leur parallélisme et donnent un image dont l'intensité tranche sur le reste (1). »

Cette irrégularité de la surface tient à la manière dont les miroirs sont fabriqués et que nous a apprise M. Ayrton. Sorti de la fonte sous la forme d'un disque plan, le miroir, avant d'être poli, est d'abord rayé dans tous les sens avec un outil pointu, et naturellement il lui offre plus de résistance dans les parties épaisses que dans les parties minces. Cette opération le rend d'abord légèrement concave et c'est par la réaction élastique du métal qu'il devient convexe; la convexité est plus sensible dans les parties minces que dans celles qui correspondent aux reliefs du dessin. Cette irrégularité de la surface n'est pas sensible à la lumière diffuse, tandis qu'elle peut, dans les miroirs minces, produire l'effet magique par la réflexion d'une lumière très vive, comme celle du soleil ou de la lampe oxyhydrique. Il en est de même de tous les miroirs mal travaillés. Une lame de plaqué d'argent donne d'excellentes images, tandis que, si on lui fait réfléchir le soleil, on aperçoit dans la section du faisceau réfléchi tous les coups de marteau qu'elle a reçus quand on l'a planée. C'est un vrai miroir magique, seulement l'image réfléchie est irrégulière, tandis que celle du miroir japonais est régulière comme le dessin du revers.

C'est pour renverser définitivement la théorie de Brewster et appuyer par cela même celle de Person que M. Govi a fait ses expériences. Malgré l'intérêt qu'elles présentent, je ne veux pas les rapporter ici, puisqu'on peut les lire dans les *Annales ;* je rappellerai seulement la dernière et la plus curieuse, celle qui consiste à chauffer le miroir par derrière. Les parties minces doivent s'échauf-

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* 21 juin 1847.

Digitized by Google

fer plus rapidement que celles qui sont en relief; elles deviendront plus convexes, les irrégularités de la surface seront plus accentuées et l'effet magique sera augmenté ; il pourra même se produire dans les miroirs qui étaient d'abord inertes.

Lorsque j'eus pris connaissance des deux Notes de M. Govi, je proposai à M. Duboscq de s'associer à moi pour répéter d'abord les expériences du savant italien et pour étudier en général la question si intéressante des miroirs magiques, avec l'espoir de pouvoir les reproduire dans ses ateliers. Tel a été, en effet, le résultat définitif de notre collaboration.

Nous n'avions d'abord à notre disposition que le miroir rapporté du Japon par M. Dybowski et qui donnait, par la réflexion des rayons solaires, des images confuses. Ces images deviennent très nettes quand on chauffe le miroir par derrière avec un bec de gaz, et le miroir devient tout à fait magique.

Nous l'avons ensuite fait mouler et reproduire, non pas en bronze japonais, mais en bronze ordinaire. Un premier exemplaire a été travaillé brutalement sur le tour, à la manière japonaise, pour le rendre magique; mais il s'est cassé. Un second a été travaillé doucement dans un bassin, puis la surface polie a été nickelée; mais il n'était pas magique. Seulement il a pris cette propriété à un très haut degré quand on l'a chauffé, et même il en a gardé des traces depuis qu'il a été chauffé plusieurs fois. Plusieurs miroirs japonais, que nous avons pu nous procurer, nous ont donné des résultats analogues.

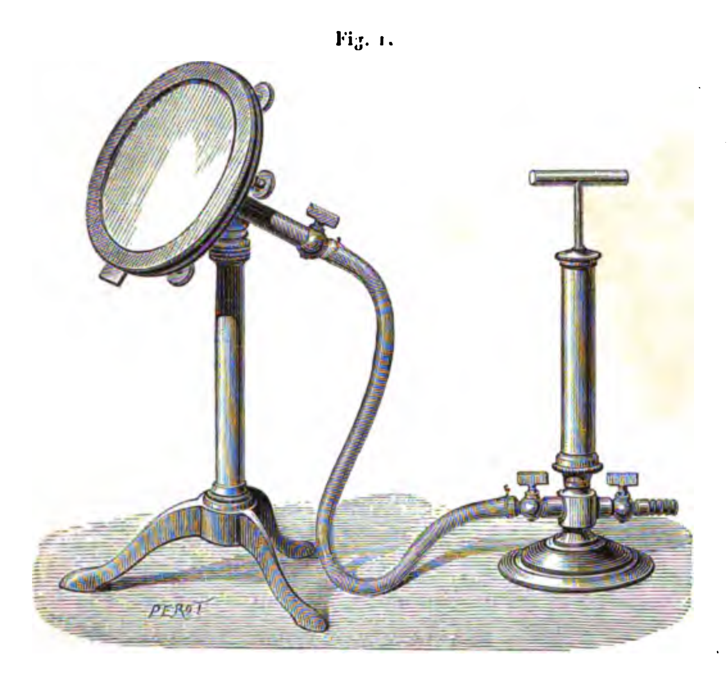
On a gravé des lettres derrière de petits miroirs japonais de forme rectangulaire; quand le miroir était chauffé, ces lettres apparaissaient noires dans l'image. Quand on faisait un trait autour des ornements du revers, le miroir chauffé devenait tout à fait magique, parce que le dessin ressortait encadré par le trait noir qui limitait les contours des figures.

Ainsi, l'application de la chaleur est certainement très efficace pour rendre les miroirs magiques; mais elle n'est pas sans inconvénients. D'abord elle détériore les miroirs, qui perdent leur poli, surtout lorsqu'ils sont amalgamés. Ensuite on n'arrive pas toujours à chauffer le miroir partout également et les images sont déformées. Nous avons pensé que le changement de courbure qu'il s'agit de produire s'obtiendrait bien plus uniformément par la pression.

Digitized by Google

M. Duboscq a donc construit une boîte plate en laiton, fermée d'un côté par le miroir métallique et de l'autre par un disque portant à son centre un ajutage qu'on peut relier par un tube en caoutchouc avec une petite pompe à main (*fig.* 1). Cette pompe est à la fois

Fig. 1.



aspirante et foulante. Si le caoutchouc est attaché au robinet de compression, quelques coups de piston suffisent pour comprimer l'air suffisamment dans la boîte; le miroir devient de plus en plus convexe, le cône de rayons réfléchis s'ouvre de plus en plus, et, dans la partie où il frappe l'écran, l'image du revers apparaît de plus en plus nette. Notre miroir japonais donne alors de très belles images; la copie qui en a été faite, et qui ne donne rien à l'état ordinaire, devient un miroir magique aussi parfait que tous ceux que M. Ayrton nous a montrés. Un miroir en laiton nickelé, derrière lequel sont gravées des figures en creux à côté d'ornements en relief formés par des lames de fer-blanc soudées, devient très magique par la pression et donne en même temps l'image noire des dessins en creux et l'image blanche des dessins en relief.

C'est là ce que j'appellerai l'image *positive*. On peut aussi avoir

Digitized by Google

une image *négative* ou inverse de la précédente en raréfiant l'air dans la boîte à pression, et pour cela il suffit d'attacher le caoutchouc au robinet d'aspiration de la pompe. Le jeu de celle-ci raréfie l'air dans la boîte, le miroir devient concave, la section du faisceau réfléchi devient plus petite, et l'image du revers est amoindrie et change de caractère ; les reliefs viennent en noir et les creux en blanc.

Ces expériences exigent une lumière intense. Un bec de gaz est insuffisant ; mais la lumière Drummond suffit parfaitement. On l'intercepte avec un écran percé d'un trou pour que le faisceau divergent qui tombe sur le miroir ne soit pas trop dilaté ; le miroir, qui est mobile sur son support, renvoie ce faisceau soit au plafond, soit sur un écran. Les effets sont beaucoup plus brillants et plus nets avec le soleil. Quand on présente le miroir au porte-lumière, le faisceau lumineux ne le couvre pas tout entier ; il convient de le dilater avec une lentille qui fait converger les rayons solaires en avant du miroir, de sorte que celui-ci reçoit toujours des rayons divergents.

En résumé, en copiant les miroirs japonais, on peut faire maintenant des miroirs dont quelques-uns sont magiques, et on peut les rendre tous magiques par la pression. La boîte à pression, avec un miroir métallique façon japonaise, surtout s'il porte à la fois des ornements en relief et des dessins en creux, constitue un appareil des plus curieux et dont la place est marquée dans tous les cabinets de Physique.

Nous ne nous arrêterons pas là. Un de ces jours, pendant que notre miroir sera rendu magique par la pression, nous voulons faire mouler la surface polie, et nous la ferons reproduire par la galvanoplastie. Cette surface aura toutes les irrégularités de celle du miroir magique et produira dans les rayons réfléchis l'image d'ornements qui n'existeront plus.

Sur un cas de polarité rémanente de l'acier opposée à celle de l'hélice magnétisante qui la produit ; par M. Aug. Righi.

On sait que le rapport entre le magnétisme rémanent et le magnétisme temporaire d'une barre d'acier enveloppée par une bo-

Digitized by Google

bine magnétisante devient de plus en plus petit si la barre est de plus en plus courte et grosse. Or, à ce propos, une théorie générale des phénomènes magnétiques, dont je m'occupe depuis quelque temps, m'a conduit à une étrange conséquence, qui est en opposition avec les faits connus, mais que l'expérience a confirmée de tout point. Voici la conséquence : *Si l'on prend des barres d'un même acier et de même diamètre, mais de longueurs décroissantes, on doit arriver à une certaine longueur qui ne donne pas de magnétisation, pendant qu'avec des longueurs moindres on doit obtenir une polarité rémanente opposée à celle de la bobine.*

Je me bornerai, quant à présent, à indiquer ce fait inattendu. Il n'est pas difficile de vérifier que toute barre d'acier recuit dont la longueur est un peu plus grande que le diamètre présente le phénomène de la magnétisation inverse. Voici toutefois les dimensions d'un de mes appareils et quelques détails pratiques qui assurent la réussite de l'expérience. On prend une barre d'acier recuit, extrêmement brachypolaire, selon la dénomination de M. Jamin, soit longue de $0^{m},050$ et ayant $0^{m},030$ de diamètre. On l'entoure par une bobine d'à peu près même longueur, formée de fil de $0^{mm},5$, et d'environ $0^{m},050$ de diamètre extérieur. Deux ou trois couples Bunsen sont suffisants. Pour étudier la polarité, on se sert du système mobile d'un galvanomètre à réflexion ou, pour des expériences démonstratives, d'une petite boussole ayant son aiguille très mobile et une longueur de quelques millimètres. On ferme le courant dans un godet de mercure, et, après l'avoir ouvert, on approche la barre, tenue perpendiculaire au méridien, à l'aiguille ou au galvanomètre. Ces détails ne sont pas inutiles, car il est possible d'obtenir dans la barre la polarité dans le sens ordinaire en opérant d'une manière particulière.

Si le courant est très fort, le phénomène de la polarité anomale ne se produit qu'après avoir magnétisé la barre, quelquefois dans les deux sens. Tout cela a été prévu avant l'expérience, et j'en réserve l'explication complète pour le travail annoncé plus haut.

Digitized by Google

SÉANCE DU 4 JUIN 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Thiercelin, à Paris.
Wiedemann (Eilhard).

M. P. Germain adresse une Note sur l'effet électrolytique d'une pile puissante sur les sulfures phosphorescents. Il a constaté qu'au moment où ces corps venaient d'être obtenus par la méthode humide il se formait une quantité assez grande de petits granules autour des cristaux principaux. Les sulfures ainsi traités peuvent impunément rester à l'air libre sans perdre notablement de leurs qualités phosphorescentes. Il n'en émane aucune odeur de soufre, et la lumière en est jaune, même sur un fond demi-transparent exposé à la lumière solaire diffuse ou à toute autre lumière artificielle.

Le silicate d'alumine liquide est éminemment propre à fixer ces sulfures et à leur permettre de rendre un éclat presque rayonnant.

M. Carpentier présente un frein funiculaire qui n'exige pas, comme le frein de Prony, un réglage fait à la main.

M. Cornu expose quelques-uns des résultats auxquels l'ont conduit ses recherches sur la variation de la limite ultra-violette du spectre solaire avec l'altitude.

Frein funiculaire; par M. Carpentier.

C'est en construisant les moteurs électriques de M. Marcel Deprez que j'ai imaginé l'appareil que je vais décrire, voulant me rendre un compte exact du travail produit par ces moteurs.

Digitized by Google

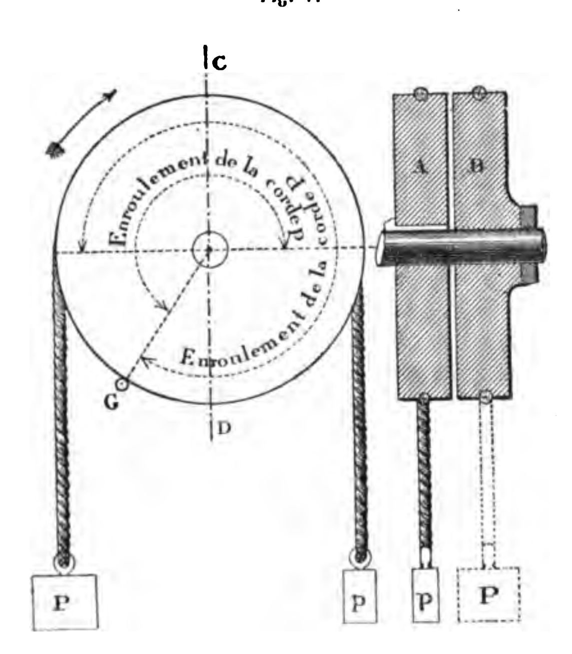
En principe, cet appareil est un *frein de Prony à serrage automatique*. Ce résultat est obtenu par l'application ingénieuse de la loi du frottement des cordes, loi d'après laquelle le frottement d'une corde croît beaucoup plus vite que l'arc d'enroulement de cette corde sur sa poulie.

L'appareil se compose de deux poulies montées sur l'arbre même du moteur à essayer : la première A est calée sur l'arbre et est entraînée par le mouvement de rotation, la seconde B est folle.

Une corde très flexible, portant un petit poids p, est fixée à la jante de la poulie B et s'enroule sur A ; une seconde corde portant un poids P est enroulée sur la poulie B, à laquelle elle est attachée sur un point de sa circonférence.

Voici comment fonctionne l'appareil. Si le frottement augmente,

Fig. 1.



la poulie calée A tend à entraîner la poulie folle B et fait diminuer l'arc d'enroulement de la corde p; mais l'entraînement de B force la corde P à s'enrouler davantage sur B, jusqu'à ce que la résistance opposée fasse équilibre à l'augmentation de frottement produite.

Digitized by Google

Si le frottement diminue, la poulie A enroule davantage p, et, par suite, l'arc d'enroulement de la corde P diminue aussi.

Cette disposition établit donc un réglage du frein automatique et parfait ; elle permet de déterminer avec une très grande exactitude la valeur du travail développé sur l'arbre moteur.

En donnant le même diamètre aux poulies A et B, l'expression du travail *par seconde* est donnée par la formule

$$T = \frac{\pi d n}{60}(P - p),$$

formule dans laquelle T est le travail développé par seconde en kilogrammètres, d le diamètre des poulies en mètres, n le nombre de tours par minute, P le poids accroché au brin de la poulie B en kilogrammes, p le poids accroché au brin de la poulie calée A en kilogrammes.

En employant de petites cordes, le frein est plus spécialement destiné aux petites forces, ne dépassant pas quelques kilogrammètres. Pour des forces plus grandes, on remplace les cordes par des rubans d'acier.

Les moteurs électriques de M. Marcel Deprez sont tous munis d'un frein de ce système, qui permet de se rendre compte en quelques instants du travail qu'ils développent en fonction de leur vitesse et des piles qui leur sont appliquées.

Nous donnons ci-dessous une série d'expériences faites par ce procédé sur deux modèles du moteur Deprez alimentés par des éléments Bunsen plats, modèle Ruhmkorff. Le travail est exprimé en kilogrammètres.

Nombre des éléments.	Moteur.	
	Petit modèle.	Moyen modèle.
2	0,20	0,40
3	0,45	0,75
4	0,75	1,10
5	1,10	1,50
6	»	1,90
7	»	2,30
8	»	2,70

L'emploi de ce frein est tout dicté dans l'étude des moteurs de

Digitized by Google

petite puissance, car il résout le problème de la mesure du travail avec autant d'élégance que de simplicité.

Sur l'absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes; par M. A. Cornu.

I. *Sur la limite ultra-violette du spectre solaire.* — Je me suis proposé, depuis plusieurs années, d'obtenir la limite extrême du spectre solaire du côté ultra-violet, c'est-à-dire du côté des courtes longueurs d'onde. La connaissance exacte de la limite du spectre ou plutôt de la loi suivant laquelle décroît l'intensité du spectre continu idéal de la photosphère apporterait, sur la difficile question de la température du Soleil, des données au moins aussi importantes que les mesures thermiques correspondant aux radiations à grande longueur d'onde.

Malheureusement, comme on va le voir, l'atmosphère exerce sur les radiations à courte longueur d'onde une absorption si énergique, que la majeure partie du spectre solaire ultra-violet est, pour ainsi dire, brusquement interceptée d'une manière complète; l'étude que je m'étais proposée est donc actuellement impossible sous la forme simple que j'avais imaginée. Néanmoins, les résultats obtenus en vue de ces recherches présentent quelque intérêt, même au point de vue auquel je m'étais primitivement placé; ils jettent, en tout cas, un certain jour sur l'allure probable de l'absorption atmosphérique à l'autre extrémité du spectre, moins facile à étudier, et montrent que le phénomène thermique est plus complexe que ne le suppose le mode expérimental généralement adopté pour l'évaluation de la température du Soleil.

Pour rester dans le domaine des faits et de leurs conséquences les plus immédiates, je me bornerai ici à donner un résumé succinct des expériences à l'aide desquelles j'ai cherché à obtenir photographiquement la limite ultra-violette du spectre solaire, l'analyse des conditions qui permettraient de reculer un peu cette limite et les vérifications expérimentales qui en dérivent.

Mode d'observation. — Le spectroscope dont je me sers généralement est composé d'un collimateur et d'une lunette, dont les

Digitized by Google

objectifs sont respectivement formés par une lentille plan-convexe de quartz (d'environ $0^m,26$ de longueur focale pour la raie D); le prisme est en spath d'Islande : on utilise le rayon ordinaire, dont la dispersion est assez grande.

Au foyer de la lunette, on place une plaque fluorescente de verre d'urane pour la vérification approchée des réglages et finalement une petite glace sensibilisée par du collodion humide. La durée d'exposition varie, suivant les cas, de deux à six minutes, pour obtenir la limite extrême du spectre.

Au moyen d'un héliostat dont le miroir est remplacé par un prisme réflecteur en quartz, on concentre le faisceau de lumière sur la fente du collimateur, à l'aide d'une lentille de quartz.

La limite du spectre est variable suivant l'état de l'atmosphère, la nature du collodion employé et la durée d'exposition; mais en choisissant les plus belles journées, en adoptant un collodion de composition constante et une durée d'exposition toujours la même, on obtient des séries très comparables (1). Voici un exemple d'observation :

11 *septembre* 1878. *Observation faite à Courtenay (Loiret). Latitude,* 48° 2′ 20″; *durée d'exposition, deux minutes et demie. Clichés renforcés une fois.*

h m		h m	
10.30 matin.....	295,5	3.40 soir......	302,0
0. 2 soir......	295,0	4.17 »	304,5
1.18 »	295,5	4.38 »	307,0
1.50 » ...	297,0	5. 2 »	312,0
3. 9 »	299,0	5.14 »	315,0?

(1) La composition du collodion et du révélateur que j'ai toujours employés de préférence est la suivante :

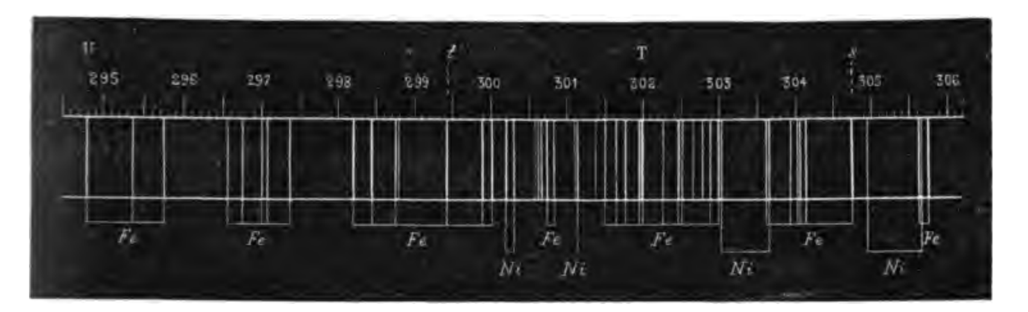
Collodion (mêler sans précaution et agiter).	Pyroxyle	1^{gr}
	Alcool	40^{cc}
	Éther..............	60^{cc}
	Iodure de cadmium.	1^{gr}
	Brom. de cadmium.	$0^{gr},25$
Révélateur.	Eau distillée...	1000^{cc}
	Sulfate de fer..	40^{gr}
	Alcool...... ...	30^{cc}
	Acide acet. crist.	30^{cc}

Le bain d'argent sensibilisateur contient de 7 à 8 pour 100 d'azotate d'argent. Pour renforcer le cliché, on ajoute quelques gouttes d'un bain d'argent à 2 pour 100 au révélateur.

Digitized by Google

La limite du spectre est exprimée en longueurs d'onde, par comparaison avec la Carte que j'ai construite au moyen des observations faites pendant l'été de 1877, et dont je reproduis ici la partie utile.

Fig. 1.



D'après le Tableau précédent, on voit que l'étendue du spectre diminue avec la hauteur du Soleil, ce qui tend à prouver que c'est à l'absorption de l'atmosphère qu'est due cette limitation.

Après divers essais faits d'après cette manière de voir, j'ai été conduit à représenter par la courbe suivante les résultats des observations. On porte comme abscisse la longueur d'onde limite observée et comme ordonnée le *logarithme du sinus de la hauteur du Soleil* (on sait que les épaisseurs atmosphériques traversées par les rayons solaires sont sensiblement en raison inverse du sinus de la hauteur du Soleil). L'ensemble des points ainsi définis se trouve pour une même journée réparti sur une courbe à fort peu près rectiligne; les divergences proviennent d'altérations momentanées de la transparence de l'atmosphère.

La construction des points correspondant à plus d'une centaine d'observations aux diverses heures de la journée m'a conduit à adopter comme ligne moyenne la droite qui passe par le point ($\sin h = 0,49$ et $\lambda = 300$) et parallèle à la direction définie par deux points ($\sin h = 0,75$, $\lambda = 295$; $\sin h = 0,30$, $\lambda = 306$) relevés sur une courbe dont les ordonnées représentaient les sinus des hauteurs vraies du Soleil au début de l'observation. On en déduit l'équation empirique $\sin h = 0,49 . 10^{-0,036175(\lambda-300)}$, ou, si l'on calcule avec des logarithmes népériens, $\sin h = 0,49\, e^{-0,08330(\lambda-300)}$.

La limite la plus éloignée que j'aie pu obtenir correspond à la

Digitized by Google

longueur d'onde 293; elle a été atteinte avec certitude deux fois seulement, le 24 juin et le 18 août 1878, aux environs de midi. Les radiations de $\lambda = 294$ à 295 ont été atteintes bien des fois de mai à septembre 1877 et 1878, et récemment encore dès le 5 mai 1879.

Malgré les nombreux essais faits dans les meilleures conditions, soit à Paris, soit à la campagne, il m'a été impossible d'aller plus loin.

Lorsqu'on examine les causes d'erreur qui peuvent modifier systématiquement les résultats, on reconnaît que la durée d'exposition des clichés est à peu près la seule qu'on ait à redouter dans l'appréciation de la limite du spectre; or il se présente une circonstance extrêmement favorable : c'est que l'effet photographique se produit pour ainsi dire dans les premiers instants, de sorte que la prolongation de l'exposition n'ajoute que peu à l'étendue des radiations agissantes. C'est ce que j'ai établi par une série méthodique d'expériences, parmi lesquelles je citerai la suivante comme typique :

16 *octobre* 1878. *Courtenay*. $11^h 47^m$, T. M.

Durée de l'exposition (quatre épreuves sur le même cliché).	Longueur d'onde limite du côté ultra-violet.	Différences.
1^s..........	$\lambda = 306,5$	
		5,5
5	301	
		2,5
20	298,5	
		1,0
100	297,5	

Ainsi, les durées d'exposition variant à peu près en progression géométrique, les variations de la limite perceptible diminuent très rapidement; d'après la loi que suivent les différences, pour reculer la limite seulement d'une demi-unité, il faudrait plus que quadrupler la durée d'exposition et la porter à cinq ou six cents secondes ou dix minutes. Aussi l'expérience a-t-elle montré qu'il était à peu près indifférent de dépasser deux à trois minutes pour la durée de l'exposition lorsque le temps est bien pur; lorsque l'on craint le passage de brumes légères, il est plus prudent de prolonger cette durée jusqu'à six minutes, afin d'augmenter les chances d'éclaircie.

Analyse des conditions qui permettraient de reculer la limite

Digitized by Google

de l'observation. — La limitation du spectre ultra-violet paraissant due à l'absorption atmosphérique, peut-on espérer, en se plaçant dans des conditions plus favorables, reculer notablement la limite de visibilité? Nous allons voir, par l'analyse des conditions de l'expérience, que, d'après les faits observés, on ne doit pas attendre une amélioration bien considérable ou du moins en rapport avec les difficultés matérielles qu'il faudrait affronter.

Exprimons l'intensité P de l'impression photographique en fonction des éléments qui la déterminent; nous admettrons que l'intensité P, pour des valeurs très petites (les seules sur lesquelles nous ayons ici à raisonner), est proportionnelle à l'intensité J_λ de la radiation de longueur d'onde λ et à une fonction particulière de λ et du temps t: $P = J_\lambda F(\lambda, t)$. Cette fonction F représente la *sensibilité* de la couche impressionnable. Si la radiation, avant d'agir, est transmise par un milieu d'épaisseur ε ayant le pouvoir de transmission a_λ pour la radiation λ, l'intensité devient I_λ; $I_\lambda = J_\lambda a_\lambda^\varepsilon$, $a_\lambda < 1$. Le milieu absorbant étant limité par une surface sensiblement plane, la direction de transmission faisant un angle h avec le plan, on a

$$\varepsilon = \frac{l}{\sin h};$$

l est l'épaisseur normale du milieu absorbant supposé homogène; s'il n'est pas homogène, mais formé de couches parallèles de densité variable δ, l représente la hauteur équivalente calculée par la formule $l\delta_0 = \int \delta dz$, δ étant la densité correspondant à l'épaisseur z et δ_0 étant la densité choisie pour l'évaluation de la *hauteur réduite* l, car c'est la quantité de la matière traversée, et non sa répartition, qui produit l'absorption. Substituant dans la valeur de P, on a

$$P = J_\lambda F(t, \lambda) a_\lambda^{\frac{l}{\sin h}}. \tag{1}$$

Il y a trois fonctions inconnues de λ, à savoir J, F et a_λ; la forme particulière sous laquelle elles se présentent permet de les éliminer à l'aide de l'équation empirique fournie par les observations dont il a été question plus haut. En effet, on a déterminé pour un même lieu ($l = l_1$) la loi qui lie les hauteurs h du Soleil à la longueur d'onde limite λ observée, c'est-à-dire à celle qui donne l'impression photographique limite $P = \varpi$; ϖ est alors une constante,

Digitized by Google

la même pour toutes les valeurs de λ. Prenant le logarithme des deux membres de l'équation précédente, où $P = \varpi$, $t = T$, durée constante de l'exposition,

$$\log \varpi = \log J_\lambda + \log F(T, \lambda) + \frac{l}{\sin h} \log a_\lambda,$$

qui se réduit à la forme $\frac{\sin h}{l} = \psi(\varpi, T, \lambda)$, puisque J_λ est une fonction de λ (J_λ représente la loi qui lie l'intensité de la radiation avec la longueur d'onde dans le spectre continu idéal de la photosphère).

Mais l'expérience a montré que dans le même lieu ($l = l_1$), pour une durée de pose constante ($T = \text{const.}$), la limite d'impression ($\varpi = \text{const.}$) était donnée par la loi $\sin h = 0,49 e^{-0,08330(\lambda - 300)}$, ou de la forme

$$\sin h = M e^{-m(\lambda - \lambda_0)}.$$

Substituant cette valeur de $\sin h$ et celle de l, la formule devient

$$\frac{\sin h}{l} = \frac{M e^{-m(\lambda - \lambda_0)}}{l_1}. \tag{2}$$

Variation de la limite avec l'altitude. — Si l'on se reporte à la formule primitive (1), on voit que l'absorption est d'autant moindre que la hauteur solaire est plus grande et que l'épaisseur l est plus petite. On doit donc, en diminuant l'épaisseur atmosphérique, c'est-à-dire en augmentant l'altitude z du lieu d'observation, étendre la limite de visibilité du spectre.

La formule (2) donne précisément la loi cherchée, c'est-à-dire l'étendue gagnée avec l'altitude. En effet, la quantité l est, à un facteur près, représentée par le poids d'une colonne atmosphérique ayant l'unité de base comme section; si donc on désigne par p la pression barométrique, on aura $l = Ap$, où la loi de décroissance de la pression avec l'altitude est donnée par une expression de la forme $p = p_0 e^{-\frac{z}{z_0}}$, z_0 étant la constante barométrique. Il vient finalement

$$\sin h = M e^{-m(\lambda - \lambda_0) - \left(\frac{z - z_1}{z_0}\right)},$$

formule qui donne la loi approchée qui existe entre la longueur

Digitized by Google

d'onde de la radiation du spectre solaire à la limite de visibilité pour une hauteur donnée h du Soleil et l'altitude z du lieu d'observation.

Nous pouvons maintenant savoir ce que l'on gagne par l'accroissement de l'altitude, à hauteur égale du Soleil; il suffit d'écrire que l'exposant de e est constant.

La longueur d'onde de la radiation limite et l'altitude sont donc liées par une fonction linéaire, de sorte que leurs variations finies ou infiniment petites sont proportionnelles; le coefficient de proportionnalité est $-mz_0$,

$$dz = -663^{m},3\,d\lambda;$$

en substituant, $z_0 = 7963^{m}$ (constante de Ramond, 18336^{m}, multipliée par le module des logarithmes vulgaires, ou 0,434294) et $m = 0,0833$.

Ainsi on a chance de reculer la limite de visibilité des radiations d'une quantité correspondant à une unité (millionième de millimètre) dans la longueur d'onde lorsqu'on s'élève de $663^{m},3$ en altitude.

Ce gain est, relativement à la longueur du spectre que donnent les étincelles d'induction ou l'arc électrique, extrêmement faible. Si l'on songe que l'on ne peut guère faire d'observations régulières au-dessus de 4000^{m} d'altitude, on voit que le gain calculé n'atteint que six unités ou environ la moitié de la différence qui se présente de l'hiver à l'été; le résultat obtenu serait donc encore bien loin de correspondre aux efforts à dépenser pour aller installer des appareils à une altitude aussi grande.

II. *Observation de la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes.* — Je me suis proposé d'étudier par l'expérience directe la variation de cette limite, en installant mes appareils ordinaires d'observation en différents points des Alpes, à des altitudes convenablement choisies.

J'aurais désiré atteindre une altitude aussi grande que celle à laquelle plusieurs observateurs ont porté leurs appareils pour l'étude de la radiation calorifique du Soleil, par exemple au sommet du mont Blanc ou du Breithorn. Malheureusement, je reconnus bientôt que cela était presque impossible dans le cas de mes expé-

Digitized by Google

riences : les manipulations photographiques exigent une installation spéciale, des abris contre le vent et la lumière, et les observations, pour être concluantes, demandent un temps beaucoup plus long que celui pendant lequel on peut rester dans ces hautes régions.

Devant ces difficultés, qu'on ne pourrait surmonter qu'avec de grandes dépenses, j'ai cru devoir me contenter pour cette fois d'altitudes modérées (2600^m), mais réunissant des conditions relativement confortables, afin de pouvoir, pendant toute la journée, effectuer à loisir une série complète d'observations. J'ai pensé que ce que l'on perdrait par défaut d'altitude serait largement compensé par le soin et la tranquillité d'esprit que l'observateur apporterait à ses opérations.

Mettant à profit les indications données par plusieurs savants habitués aux expériences dans les montagnes, je me suis installé d'abord au Riffelberg, dans le massif du mont Rose, à une altitude de 2570^m. Cette station, où se trouve un hôtel convenable, est l'une de celles où les probabilités de temps clair sont les plus grandes. J'ai été très favorisé sous ce rapport, car j'ai eu trois belles journées consécutives, les 24, 25 et 26 juillet, pendant lesquelles j'ai obtenu vingt-neuf clichés du spectre solaire.

L'étude de l'influence de l'altitude étant en réalité une mesure différentielle, mesure à effectuer sur un élément très délicat et très fugace, il faut, pour arriver à une conclusion valable, non seulement que l'appareil d'observation soit le même, mais encore que les circonstances de toute nature soient aussi identiques que possible. En conséquence, je tâchai de réaliser une véritable mesure différentielle en transportant mes appareils à quelques kilomètres du Riffelberg, mais à 2000^m en contre-bas. Je m'installai dans le petit village de Viège, au confluent de la vallée de Zermatt et de la vallée du Rhône (altitude, 657^m), et pendant la magnifique journée du 28 juillet 1879 je pus obtenir une série de quatorze clichés.

Dans ces conditions, la comparabilité des résultats est aussi complète que possible : mêmes appareils, même installation improvisée, par suite mêmes erreurs systématiques, mêmes conditions atmosphériques. Aussi la différence de position de la limite ultra-violette est-elle très nette; on en verra plus loin la valeur numérique.

Digitized by Google

Enfin, comme contre-épreuve, je répétai les observations au Rigi (à moitié chemin entre le Rigi Staffel et le Rigi Kulm, à 1650ᵐ d'altitude). La journée du 1er août fut très belle jusqu'à 2h, puis des brumes légères survinrent, comme cela arrive fréquemment dans ces parages. J'obtins une série de dix clichés; la limite observée aux environs de midi est intermédiaire entre celles observées au Riffelberg et à Viège. Les jours suivants ne furent pas assez purs pour permettre de faire des observations utiles.

L'examen micrométrique des clichés a donné les résultats suivants pour les limites extrêmes du spectre solaire ultra-violet; ils sont exprimés en longueurs d'onde :

	λ.	Altitude.
Riffelberg	293,2	2570ᵐ
Rigi	294,8	1650
Viège	295,4	660
Différence (Riffel-Viège).	—2,2	1910

Les nombres ci-dessus étant très comparables entre eux, on peut en tirer une valeur directe du coefficient d'accroissement de visibilité avec la hauteur, que j'avais déduit des observations faites à Paris (50ᵐ d'altitude) ou à Courtenay (Loiret) (170ᵐ environ). Ce coefficient, calculé d'après la formule empirique qui lie la limite ultra-violette à la hauteur du Soleil, a été trouvé plus haut égal à 663ᵐ; les résultats ci-dessus montrent que ce coefficient est trop faible. En effet, la différence d'altitude de 1910ᵐ entre Viège et le Riffel n'a reculé la limite que de 2,2 unités, ce qui correspond à 868ᵐ d'accroissement d'altitude par unité.

La belle série du 25 juillet, faite au Riffelberg, permet d'obtenir une valeur très approchée de ce coefficient d'accroissement. L'ensemble des résultats est représenté par une expression de la forme

$$\sin h = \mathrm{M} e^{-m(\lambda-\lambda_0)},$$

dans laquelle $m = 0,11256$. On en conclut, suivant l'analyse exposée précédemment,

$$dz = -m z_0 d\lambda \quad \text{ou} \quad dz = -896^{\mathrm{m}},3\, d\lambda.$$

Telle est la valeur théorique de ce coefficient, fondée sur des

Digitized by Google

données précises. L'observation directe donne 868^m, en partant des observations du Riffel et de Viège : la concordance est donc aussi satisfaisante qu'on peut la souhaiter dans l'évaluation numérique de phénomènes aussi délicats et constitue une vérification des calculs théoriques qui lient les phénomènes observés en un seul point avec ceux qu'on observe à diverses altitudes.

III. *Démonstration directe de l'absorption des radiations ultra-violettes par l'atmosphère.* — La théorie précédente suppose que c'est l'atmosphère qui absorbe les radiations ultra-violettes suivant une progression extrêmement rapide lorsque la longueur d'onde diminue. J'ai réussi à montrer par une expérience directe cette absorption des radiations très réfrangibles.

Un tube de 4^m de longueur, fermé à ses deux extrémités par deux lames de spath fluor, a été intercalé entre le collimateur et le prisme du spectroscope formé par des objectifs et des prismes de quartz.

Devant la fente du collimateur on fait jaillir une forte étincelle d'induction entre deux électrodes d'aluminium et l'on observe le spectre soit avec un oculaire fluorescent, soit avec un oculaire photographique : l'aluminium donne le spectre le plus étendu qu'on connaisse; les trois derniers groupes de raies sont les derniers termes de l'échelle conventionnelle bien connue (*Journal de Physique*, t. VIII, p. 187). Lorsque le tube est plein d'air, on ne voit aucune trace de la raie 32 du spectre de l'aluminium; mais, si l'on fait progressivement le vide, la raie 31 gagne notablement en intensité, la raie 32 apparaît bientôt et finalement surpasse en éclat la raie 31; la raie 30, qui varie extrêmement peu, sert de repère et rend très faciles ces appréciations relatives d'intensité. Si on laisse rentrer l'air dans le tube, les mêmes phénomènes se reproduisent en ordre inverse.

Ainsi, l'absorption des radiations très réfrangibles par l'atmosphère est démontrée : l'explication admise pour rendre compte de la variation de la limite ultra-violette du spectre solaire est donc légitime.

IV. *Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance*

Digitized by Google

absorbant dans l'atmosphère les radiations solaires ultra-violettes. — Les résultats précédents peuvent se résumer ainsi :

1° La longueur d'onde λ de la radiation à la limite de visibilité photographique observée dans le spectre ultra-violet, lorsque le Soleil est à une hauteur h au-dessus de l'horizon, est donnée empiriquement par une expression de la forme

$$\log \sin h = m\lambda + n,$$

m et n étant deux constantes; de sorte que, si l'on prend le logarithme sinus de la hauteur du Soleil comme ordonnée et la longueur d'onde comme abscisse, la ligne représentative des points ainsi définis, correspondant aux diverses heures de la journée, est une droite.

2° A des altitudes croissantes, la droite représentative se déplace parallèlement à elle-même, proportionnellement à la variation d'altitude, dans le sens d'un accroissement de visibilité du spectre; le taux de la progression q est d'environ $868^m,2$, c'est-à-dire qu'à hauteur égale du Soleil on voit reculer d'une unité (millionième de millimètre) sur l'échelle des longueurs d'onde la limite visible lorsqu'on s'élève de $868^m,2$, de sorte que l'équation de la droite prend la forme

$$\log \sin h = m\left(\lambda + \frac{z}{q}\right) + n. \tag{3}$$

La loi représentée par (3) ne peut être, à un point de vue rigoureux, qu'une loi approximative; on peut toutefois se demander quelles conséquences on pourrait en déduire si on la considérait comme exacte, sinon comme valeur numérique des coefficients, du moins comme forme mathématique; envisagée à ce point de vue, elle impose à la constitution optique de l'atmosphère des conditions qu'il est intéressant de mettre en évidence, car elles peuvent caractériser la nature des substances qui exercent l'absorption et les lois qui régissent ce phénomène.

Pour traiter la question par le calcul, on ne peut pas, avec le nombre restreint des données expérimentales dont nous disposons, aborder le problème de la constitution de l'atmosphère dans toute sa généralité; nous allons nous borner au cas simple, et d'ailleurs très vraisemblable, dont voici l'énoncé :

Digitized by Google

On supposera que le pouvoir absorbant de l'atmosphère (formée de couches horizontales) est dû à une substance unique ou à un mélange homogène, entrant dans l'air pour une proportion variable et inconnue suivant l'altitude.

Le problème étant ainsi posé, les résultats précédents suffisent à déterminer la loi inconnue de répartition de la matière absorbante avec l'altitude et à exclure par là même certaines causes auxquelles on pouvait attribuer jusqu'ici l'absorption des radiations ultra-violettes.

Voici les résultats auxquels on parvient en traitant la question par le calcul (1) :

La masse de la matière absorbante est à chaque altitude proportionnelle à la pression barométrique, par conséquent *dans un rapport constant avec la masse de l'air atmosphérique.*

Ce résultat exclut immédiatement la vapeur d'eau comme matière absorbant les radiations ultra-violettes. En effet, le poids de la vapeur d'eau est loin d'être en rapport constant avec le poids de l'atmosphère : la proportion diminue au contraire rapidement avec l'altitude.

On conclut des formules empiriques qui donnent le poids d'eau hygrométrique avec l'altitude que, *si l'absorption des radiations ultra-violettes était due exclusivement à l'action de la vapeur d'eau distribuée avec l'altitude suivant la loi que l'expérience indique, l'accroissement de visibilité du spectre solaire ultra-violet serait d'une unité (millionième de millimètre) sur l'échelle des longueurs d'onde pour un accroissement d'altitude de* 286^m,9. L'observation directe ayant donné trois fois plus, c'est-à-dire une unité pour 868^m,2, il y a lieu de rejeter la vapeur d'eau comme cause exclusive de l'absorption des radiations ultra-violettes.

Il est fort curieux que la vapeur d'eau, qui paraît jouer le rôle prédominant dans l'absorption des radiations peu réfrangibles du spectre, ne soit pas la substance qui exerce l'influence principale dans l'absorption des radiations ultra-violettes.

---

(1) Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XC, séance du 26 avril 1880.


Digitized by Google

J'ai tenu à vérifier ce résultat par une expérience directe : j'ai constaté que l'air saturé d'humidité à 15° et l'air soigneusement desséché, observés sous une épaisseur de 4^m dans l'appareil précédemment décrit (*Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 1290), ne présentent aucune différence appréciable dans l'absorption qu'ils exercent sur les radiations très réfrangibles du spectre de l'aluminium.

L'eau, à l'état liquide, agit également d'une manière très différente sur les deux extrémités du spectre. M. Soret a montré, en effet, que l'eau distillée est parfaitement transparente pour les radiations très réfrangibles (*Archives de Genève*, mars 1878), puisqu'une colonne d'eau distillée de $1^m,16$ laisse passer la radiation n° **28** (spectre du zinc, $\lambda = 206$) ; au contraire, pour les radiations infra-rouges, l'eau est si opaque, d'après les expériences de notre confrère M. Desains, que $0^m,01$ d'épaisseur enlève au spectre calorifique des métaux incandescents la moitié de leur longueur et les trois quarts de leur intensité (*Comptes rendus*, t. LXXXIV, p. 286).

SÉANCE DU 18 JUIN 1880.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est lu et adopté.

Le Président annonce la mort de M. Gaugain et rappelle ses travaux sur l'électricité.

M. Dufet présente, au nom de M. Laurent, un saccharimètre à pénombre perfectionné. Un diaphragme muni d'une ouverture de $0^m,002$ et d'une lentille éclairante sert de source lumineuse; il est fixé à l'appareil de telle façon que la lumière traverse la dissolution sucrée sous forme de faisceaux parallèles, ce qui supprime la réflexion sur les parois. Le pied est d'une seule pièce. Les obturateurs en verre sont maintenus par des ressorts, ce qui évite la double réfraction accidentelle que produisait parfois la pression des écrans employés auparavant à cet usage. L'éloignement de la flamme éclairante permet d'employer comme polariseur un nicol,

Digitized by Google

au lieu du prisme biréfringent, dont la seconde image est parfois gênante.

M. Laurent a construit un éolipyle à alcool qui peut remplacer le bec Bunsen dans les endroits où le gaz manque ou bien où il n'a pas une pression suffisante.

M. Goulier présente le profilographe de M. Dumoulin. Cet appareil se compose d'un chariot que l'on fait rouler sur le terrain dont on veut tracer le profil. Le chariot porte un papier qui se déplace sous un crayon d'une quantité proportionnelle à la projection horizontale du chemin parcouru. En même temps, le crayon se déplace perpendiculairement au mouvement du papier, de telle façon que l'inclinaison de la ligne tracée par le crayon soit proportionnelle à la pente du terrain. Le mouvement des roues du chariot produit le mouvement du papier ainsi que celui du crayon; il se transmet à l'un et à l'autre organe à l'aide de deux molettes qui se déplacent le long du rayon de deux disques moteurs qui les commandent et qui sont commandés par la roue du chariot. Le déplacement radial des molettes est commandé par un pendule qui reste vertical lorsque le chariot s'incline. Des organes appropriés permettent de contrôler les effets de l'usure et de multiplier par un grand bras de levier l'effet du frottement entre la molette et le disque. Les oscillations accidentelles du pendule pendant la marche ne produisent pas d'effet sensible; elles ne font qu'augmenter insensiblement la largeur du trait.

M. Gouy développe quelques considérations théoriques sur la polarisation rotatoire et l'hypothèse de Fresnel.

Sur la polarisation rotatoire et l'hypothèse de Fresnel; par M. Gouy.

Dans ses travaux sur la polarisation rotatoire, Fresnel a souvent pris pour guide une hypothèse bien connue sur la constitution optique des milieux actifs, et ce point de vue l'a conduit à la découverte de la double réfraction circulaire. Depuis lors, on a souvent regardé ce phénomène comme donnant une preuve expérimentale de la réalité de l'hypothèse qui l'a fait découvrir. Je me propose d'en donner ici une théorie indépendante de toute hypothèse.

Digitized by Google

Il nous suffira d'examiner le cas simple où un seul prisme de quartz, dont l'axe optique est normal à la face d'entrée des rayons, est placé dans un milieu indéfini, isotrope et inactif. Nous prendrons trois axes rectangulaires, la face d'entrée pour plan des xy et l'arête réfringente pour axe des y. L'onde incidente est plane et parallèle à la face d'entrée ; les vibrations y sont rectilignes et parallèles à l'axe des x ; la vitesse vibratoire sur la face d'entrée est $a \sin 2\pi \frac{t}{T}$, t étant le temps et T la durée d'une vibration.

En un point quelconque A pris en dehors du prisme sur la face de sortie, la vibration réelle sera encore rectiligne, comme le montre l'expérience. La phase sera proportionnelle à la distance z du point A à la face d'entrée, où les mouvements sont concordants ; elle sera donc $2\pi \frac{z}{\lambda}$, en appelant λ un coefficient caractéristique du quartz, qui se trouve défini par cette expression, et que nous envisagerons à ce seul point de vue. Pour simplifier les formules, nous choisirons notre milieu indéfini de telle sorte que la longueur d'onde y soit précisément λ. La direction de la vitesse au point A fait, avec la direction qu'elle aurait si, la phase demeurant la même, le pouvoir rotatoire ρ devenait nul, un angle égal à ρz. En définitive, les projections de cette vitesse sur les axes des x et des y sont respectivement

$$a \cos \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right),$$

$$a \sin \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right).$$

Soient une direction donnée faisant avec l'axe des z un petit angle α, et sur elle un point B à une grande distance R du point A. La vitesse au point B, calculée d'après les principes de la diffraction, aura respectivement pour projections sur les axes des x et des y, m étant un facteur constant qu'il est inutile de calculer,

$$V = m \int_0^Y \int_0^X \cos \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z+R}{\lambda} \right) dx\, dy,$$

$$V' = m \int_0^Y \int_0^X \sin \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z+R}{\lambda} \right) dx\, dy.$$

Digitized by Google

Si la hauteur Y du faisceau incident est assez grande, ces intégrales n'ont de valeur sensible que lorsque la direction donnée est normale à l'arête réfringente, ce que nous supposerons réalisé. De plus, nous nous bornerons ici au cas où le faisceau est suffisamment large, c'est-à-dire, où l'on a X très grand par rapport à $\frac{1}{\rho \tang \omega}$.

Il vient alors, tous calculs faits, pour $\alpha = \frac{\lambda \rho \tang \omega}{2\pi}$,

$$V = \frac{m}{2} XY \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right),$$

$$V' = \frac{m}{2} XY \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right).$$

Ce sont les équations d'une vibration circulaire. On aura de même, pour $\alpha = -\frac{\lambda \rho \tang \omega}{2\pi}$, une vibration circulaire d'égale amplitude, mais de rotation inverse. En dehors de ces deux directions, la vitesse est négligeable.

Ainsi, notre faisceau incident s'est divisé en deux faisceaux polarisés circulairement et en sens contraires. On s'assurera, en continuant le calcul, qu'on retrouve tous les autres caractères du phénomène ; on verra, par exemple, qu'un faisceau incident polarisé circulairement donne un seul faisceau émergent de même rotation. Il y a donc accord complet entre ces résultats et ceux auxquels conduit l'hypothèse de Fresnel.

Ainsi, le phénomène découvert par Fresnel n'est qu'une conséquence nécessaire de la polarisation rotatoire. Ce dédoublement remarquable, qui, dans les idées de Fresnel, est une double réfraction, devient, si on l'envisage au point de vue des faits eux-mêmes, un phénomène de diffraction d'un genre particulier.

On peut, par des considérations analogues, faire la théorie des phénomènes d'interférence où interviennent des milieux actifs, et ici ce point de vue va nous permettre de rectifier une erreur échappée à Fresnel.

Une plaque de quartz à faces perpendiculaires à l'axe reçoit sous l'incidence normale une onde homogène, plane et polarisée rectilignement. Sur la face de sortie nous aurons des vibrations rectilignes partout identiques. Elles enverront à un point extérieur

Digitized by Google

quelconque une certaine vibration résultante, à laquelle nous ne changerions rien en enlevant la plaque, et substituant à la face de sortie une onde plane, limitée par le même contour, et sur laquelle les vibrations seraient ce qu'elles étaient sur la face de sortie. Nous pouvons donc regarder la plaque comme se laissant traverser par l'onde incidente, en produisant sur elle un changement de phase et une rotation du plan de polarisation. Le premier effet peut être produit par une plaque d'un corps inactif; ainsi, les corps actifs jouent dans les phénomènes d'interférence le même rôle que les corps inactifs, sauf la rotation ordinaire du plan de polarisation.

Cette conclusion est en désaccord avec l'explication que l'on donne, d'après Fresnel, d'expériences faites par Arago et par lui-même; cette difficulté mérite toute notre attention.

Pour fixer les idées, nous considérerons les franges de Young produites dans la lumière polarisée rectilignement au moyen de deux petites ouvertures égales O et O'. Nous observons les franges sur un plan très éloigné; soit A un point de ce plan; notre plaque de quartz est normale aux rayons qui vont de O et de O' en A. Dans le langage de Fresnel, le rayon qui va de O en A se dédouble dans le quartz en deux rayons circulaires inverses D et G; de même, le rayon venant de O' se dédouble en deux rayons D' et G'. Il y a donc quatre combinaisons à considérer: D avec D', G avec G', D avec G', G avec D'. Elles donneront quatre systèmes de franges d'interférence. Le premier et le deuxième se superposent évidemment: ce sera, dans la lumière blanche, le système central. Le troisième et le quatrième seront des systèmes latéraux, visibles seulement avec un analyseur. Tel est, en substance, le raisonnement de Fresnel.

Comme on le voit, ces systèmes de franges sont regardés comme indépendants. On s'y trompe aisément si l'on ne considère que la lumière blanche; mais, dans la lumière homogène, on reconnaît que les systèmes latéraux, pris ensemble, ne sont qu'une forme nouvelle de l'expression du système central. Pour le démontrer, il suffit de traduire le raisonnement en formules.

Prenons trois axes rectangulaires, le plan des ouvertures pour plan des xy, l'axe des x parallèle à la vibration de l'onde incidente. Soit $a \sin 2\pi \frac{t}{T}$ la vitesse vibratoire aux deux ouvertures. Calculons

Digitized by Google

les vitesses apportées au point A par les rayons D, D′, G et G′, et composons ces vitesses en une seule, comme nous avons le droit de le faire, puisque ces rayons sont issus d'une même onde polarisée. En appelant δ la différence des distances OA et O′A, E l'épaisseur du quartz, λ_0 la longueur d'onde dans l'air, λ_1 et λ_2 celles des deux circulaires inverses dans le quartz, il vient, pour les projections V et V′ de la vitesse au point A sur les axes des x et des y, à un facteur constant près,

$$V = \cos\pi\frac{\delta}{\lambda_0}\cos\pi E\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right),$$

$$V' = \cos\pi\frac{\delta}{\lambda_0}\sin\pi E\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right),$$

φ étant indépendant de t.

C'est l'expression d'un système unique de franges, polarisé rectilignement dans un même plan, et entièrement indépendant de E, sauf pour la direction du plan de polarisation. On pourrait donc supprimer le quartz sans y changer autre chose que cette direction. Dans la lumière blanche, il y a une seule frange centrale, donnée par la condition $\delta = 0$.

L'expérience a paru longtemps d'accord avec l'aperçu de Fresnel, qu'elle avait d'ailleurs précédé, et c'est même la cause évidente de la méprise que nous venons de reconnaître. En effet, avec la lumière blanche et un analyseur, on voit deux systèmes latéraux de franges colorées. Mais M. Righi a montré par des expériences concluantes que, dans la lumière homogène, on n'a qu'un seul système de franges, et que les franges latérales, dans la lumière blanche, proviennent de ce que certaines couleurs se trouvent éteintes par le passage du faisceau polarisé à travers un quartz épais suivi d'un analyseur, ce qui fait reparaître les franges en des points où il n'y avait qu'un éclairement uniforme. Ainsi l'expérience est bien d'accord avec notre calcul.

Digitized by Google

SÉANCE DU 2 JUILLET 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DAVID (André), à Saint-Étienne ;
DUBOSCQ (Albert), constructeur d'instruments de Physique, à Paris ;
GOURÉ DE VILLEMONTÉ, professeur à l'École normale de Cluny ;
ODINOT, professeur au collège d'Épinal.

Le Président annonce la mort de M. Lissajous, l'un des fondateurs de la Société. Il rappelle en quelques mots les principaux travaux scientifiques de M. Lissajous.

Le Président communique à la Société : 1° une Lettre de M. le Président du Conseil d'administration des Salins du Midi, annonçant que le Conseil a accordé à la Société de Physique une somme de 1000^{fr}; 2° une Lettre de M. le Président du Conseil d'administration des Chemins de fer du Midi, qui annonce également une subvention de 2000^{fr}.

La Société charge le Président d'exprimer tous ses remercîments pour ces dons généreux, dont on peut espérer que l'exemple sera imité par d'autres Compagnies industrielles.

M. Javal communique un moyen facile et assez exact de mesurer l'astigmatisme.

M. Émile Reynier présente une nouvelle pile voltaïque à courant constant.

Avec 50 couples montés dans la salle des séances, M. Reynier fait fonctionner successivement un voltamètre, des moteurs électriques Gramme et Deprez, une grande bobine Ruhmkorff et un régulateur Serrin. Un fil de platine de 0^{m},65 de long et de 0^{mm},5 de diamètre a été maintenu à l'incandescence blanche pendant

Digitized by Google

plus d'une heure sans que le galvanomètre Deprez intercalé dans le circuit accusât aucune variation d'intensité.

M. Deprez fait fonctionner un moteur électrique à mouvement alternatif basé sur l'attraction exercée sur un cylindre de fer doux par un solénoïde. Des moteurs de ce genre ont été déjà réalisés par MM. Page en Amérique, Bourbouze et du Moncel en France; mais ce qui distingue l'appareil de M. Deprez des précédents, c'est que le courant y conserve toujours le même sens et la même intensité, et que l'aimantation du cylindre en fer doux n'est jamais interrompue ni inversée. Ce résultat est obtenu en fractionnant le solénoïde dans lequel se meut le piston de fer doux en un grand nombre de petites bobines partielles, comme celles qui constituent l'anneau de la machine Gramme. Un commutateur approprié est mis en mouvement par un excentrique circulaire.

M. Hospitalier montre un culot d'acier fondu en quatre minutes par l'arc voltaïque dans les ateliers de M. Siemens. Le courant était produit par deux machines Siemens mues par un moteur de 8 à 10 chevaux et valant de 70 à 80 webers. Le courant passait entre un creuset de charbon et une tige de charbon qui se relevait automatiquement dès que la résistance tendait à diminuer.

Mesure de l'astigmatisme; par M. le Dr JAVAL.

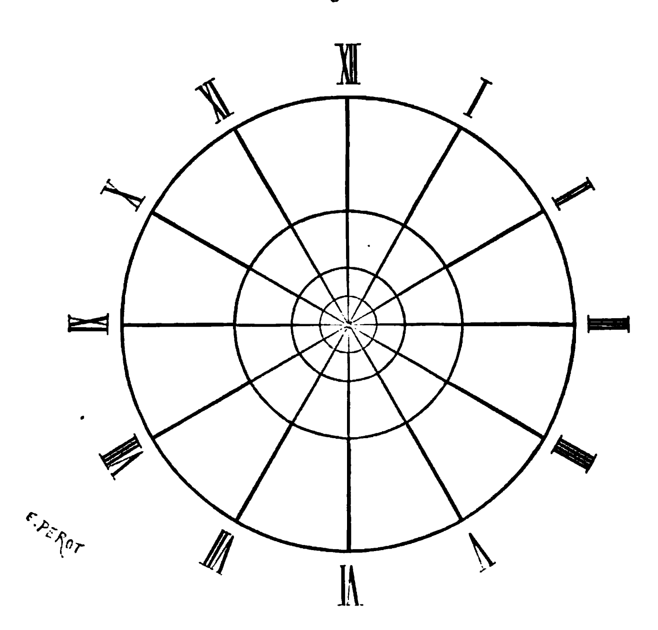
Parmi toutes les causes de fatigue de la vue, aucune n'est aussi souvent méconnue que l'astigmatisme, sans doute par suite de la difficulté qu'on éprouve à choisir exactement les verres cylindriques correcteurs de ce défaut.

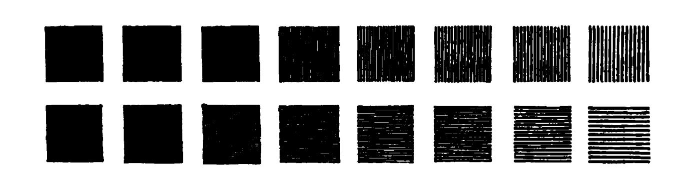
Le Tableau ci-contre permet de mesurer approximativement l'acuité visuelle, la myopie, la presbytie et l'astigmatisme. Pour l'acuité visuelle, la myopie et la presbytie, l'emploi du Tableau s'explique de lui-même. Quelques explications ne seront pas inutiles pour ce qui concerne la mesure de l'astigmatisme.

Pour mesurer l'astigmatisme, tenant le cercle à $0^m,25$ de l'œil, on le fait tourner dans son plan jusqu'à ce que le diamètre qui paraît le plus noir soit dirigé de midi à 6^h; à ce moment, la force de l'astigmatisme est donnée par la différence de rang entre

Digitized by Google

Fig. 3.





m								
0,25...	0	1	2	3	4	5	6	7
0,50..........		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
1.........................				0	0,25	0,50	0,75	1
2..								0

Dioptries.	Numéros.	Dioptries.	Numéros.	Dioptries.	Numéros.
1......	40	7......	$5 \frac{5}{7}$	13......	$3 \frac{1}{13}$
2......	20	8......	5	14......	$2 \frac{6}{7}$
3......	$13 \frac{1}{3}$	9......	$4 \frac{4}{9}$	15......	$2 \frac{2}{3}$
4......	10	10......	4	16......	$2 \frac{1}{2}$
5......	8	11......	$3 \frac{7}{11}$	18......	$2 \frac{2}{9}$
6......	$6 \frac{2}{3}$	12......	$3 \frac{1}{3}$	20......	2

Digitized by Google

les carrés des deux files qui paraissent encore striés. On peut renouveler la même expérience à $0^m,50$ de distance, mais alors les rangs des carrés sont exprimés par les chiffres de la seconde ligne : une différence d'un rang n'indique plus qu'une demi-dioptrie d'astigmatisme. On peut procéder de même à 1^m, en se servant des chiffres de la troisième ligne. Suivant les cas, pour l'une ou l'autre des expériences, qui se contrôlent mutuellement, il est utile de corriger préalablement la myopie ou la presbytie par des verres sphériques appropriés.

Il est utile de corriger l'astigmatisme à partir d'une demi-dioptrie, d'une dioptrie ou d'une dioptrie et demie, selon l'âge ou la profession des personnes qui en sont affectées ; à partir de deux dioptries le défaut cause toujours une gêne très appréciable.

Pile voltaïque énergique et constante, fournissant des résidus susceptibles d'être régénérés par électrolyse; par M. ÉMILE REYNIER.

Le zinc de cette pile plonge dans une solution de soude caustique ; l'électrode négative, qui est en cuivre, est dépolarisée par une dissolution de sulfate de cuivre, séparée de la liqueur alcaline par une cloison perméable. Le couple ainsi constitué est constant ; sa force électromotrice est assez élevée : $1^{volt},3$ à $1^{volt},5$, selon la concentration des liqueurs.

Les solutions de soude et de sulfate de cuivre ont une conductibilité médiocre ; j'ai diminué leur résistance par l'addition de sels convenablement choisis. D'autre part, j'ai notablement réduit la résistance de la cloison poreuse en adoptant pour sa fabrication le papier parcheminé, déjà utilisé dans le même but par M. F. Carré [1].

Je superpose plusieurs feuilles de ce papier pour modérer sa perméabilité, et je fais mes vases poreux en forme de prismes rec-

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXVI, p. 612.

Digitized by Google

tangulaires aplatis, afin de donner aux électrodes des surfaces efficaces relativement grandes.

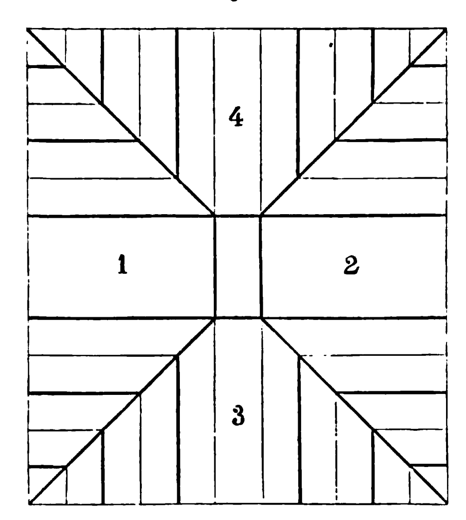
Ces vases prismatiques sont obtenus, sans collage ni couture, par le procédé suivant : au milieu de la feuille de papier parcheminé devant servir à la construction du vase, on trace la base du prisme; à chacun des côtés de ce polygone et à une distance égale à la hauteur du vase, on mène des parallèles dont l'ensemble forme un polygone plus grand, que l'on découpe. Ensuite on forme le vase en plissant les portions du septum placées en dehors du développement géométrique, les plis étant appliqués et agrafés sur celles des faces du vase qui doivent être peu ou point perméables.

La *fig.* 1 représente en perspective le vase poreux rectangulaire; la *fig.* 2 le montre développé et étalé sur le plan de sa base, les

Fig. 1.



Fig. 2.



plis creux étant indiqués par des traits forts et les plis saillants par des traits fins.

Ce moyen de fabrication est applicable à des récipients prismatiques de base quelconque. Par exemple, un vase octogonal (*fig.* 3) serait obtenu au moyen du développement tracé *fig.* 4.

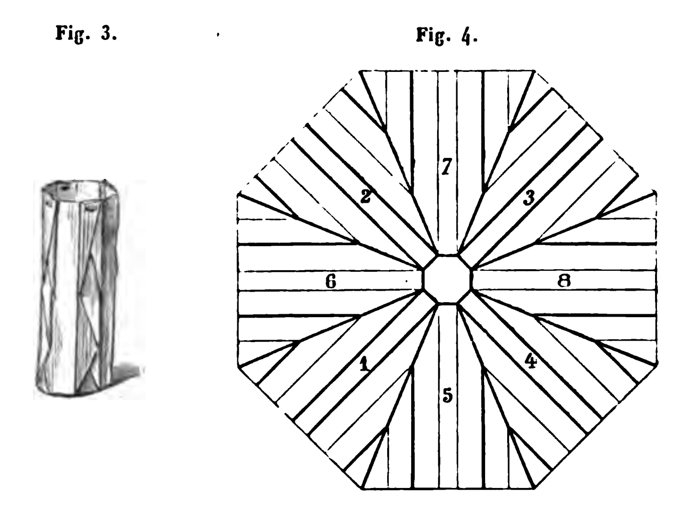
Qu'il me soit permis de signaler, en passant, l'usage que les chimistes pourront faire de ces vases dans les opérations d'osmose.

Le zinc (*fig.* 5) et le cuivre (*fig.* 6) de la pile sont découpés

Digitized by Google

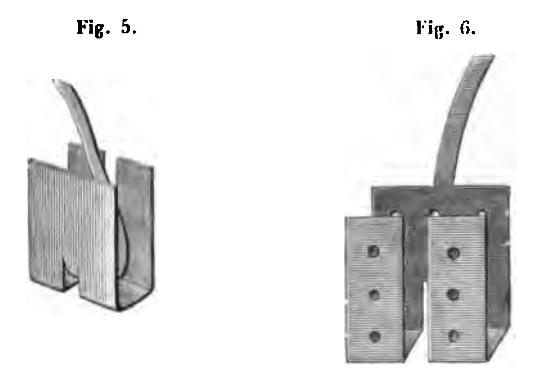
sans perte dans les feuilles laminées du commerce; les queues sont relevées dans le morceau, ce qui offre le double avantage d'éviter

Fig. 3. Fig. 4.



une jonction et de livrer passage à la circulation des liquides. Le

Fig. 5. Fig. 6.



cuivre est placé à l'extérieur, comme on le voit sur le dessin d'ensemble (*fig.* 7).

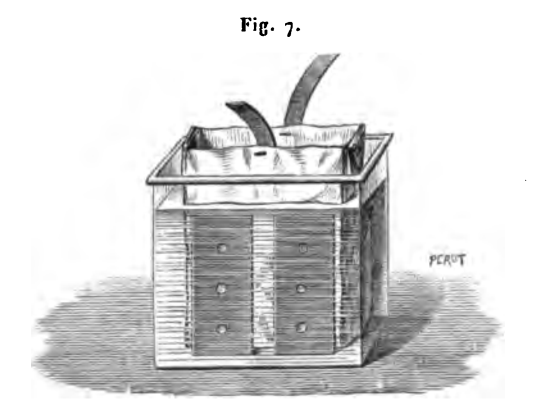
La force électromotrice initiale du couple zinc ordinaire et cuivre, monté avec mes liqueurs, est $1^{volt},47$; elle descend jusqu'à $1^{volt},35$ après une longue fermeture en court circuit. La résistance est $0^{ohm},075$ dans le modèle représenté *fig.* 7, dont la hauteur est $0^{m},20$ et la capacité de 3^{lit}.

Pour déterminer le rang que cette pile occupe dans la série des

Digitized by Google

couples auxquels on pourrait la comparer, j'ai dressé la liste de ces piles, en indiquant, pour chacune d'elles, la force électromotrice E, la résistance intérieure R et le *travail extérieur maxi-*

Fig. 7.



mum T, exprimé d'abord en kilogrammètres par seconde, valeur calculée au moyen de l'expression

$$T = \frac{E^2}{4gR}.$$

En divisant les valeurs en kilogrammètres par l'équivalent mécanique de la chaleur, on a obtenu les valeurs du travail en calories (gramme-degré), inscrites dans la dernière colonne du Tableau.

Désignation des piles.	Constantes. E en volts.	Constantes. R en ohms.	Travail. T en kilogrammètres.	Travail. T en calories.
Pile Bunsen, modèle ordinaire rond, hauteur $0^m,20$.....	1,80	0,24	0,344	0,796
Pile Bunsen rectangulaire modèle Ruhmkorff, hauteur $0^m,20$................	1,80	0,06	1,378	3,189
Pile Daniell modèle rond, hauteur $0^m,20$..........	1,06	2,80	0,010	0,023
Pile horizontale W. Thomson (¹), électrodes de 12^{dmq}	1,06	0,20	0,143	0,331
Pile cylindrique F. Carré, hauteur $0^m,60$..........	1,06	0,12	0,238	0,551
Pile Reynier, modèle rectangulaire, hauteur $0^m,20$...	1,35	0,075	0,619	1,440

(¹) Alf. Niaudet, *Traité de la pile électrique*, 2ᵉ édition, p. 98.

Digitized by Google

On voit que mon nouveau couple rectangulaire de $0^m,20$ surpasse en énergie les plus grandes piles à sulfate de cuivre et sulfate de zinc ; il est environ deux fois plus fort que le couple Bunsen rond ordinaire des laboratoires et n'est surpassé que par le couple Bunsen rectangulaire modèle Ruhmkorff.

Le zinc n'est pas amalgamé ; néanmoins, il n'est pas attaqué en circuit ouvert par la liqueur alcaline qui le baigne ; par conséquent, le poids du zinc consommé est en parfait accord avec la dépense théorique et peut donner la mesure de la quantité d'électricité dégagée.

La nouvelle pile, ai-je dit, n'émet pas de produits volatils ; par conséquent elle contient, après fonctionnement, toutes les substances employées, autrement combinées, mais sans perte. Il est donc possible de *régénérer* ces produits, c'est-à-dire de les ramener à peu près à l'état neuf. Il faut, pour cela, faire traverser les liquides épuisés par une quantité d'électricité peu supérieure à celle qui a été dégagée par la pile, en dissolvant le cuivre déposé et déposant le zinc dissous.

En demandant à des machines magnéto-électriques l'électricité nécessaire à la revivification, le renouvellement des liquides et des métaux de la pile est ramené à une dépense de force motrice. Économiquement produite dans l'usine de régénération à l'aide de puissantes machines, l'électricité se trouvera emmagasinée dans les liquides régénérés à l'état d'énergie disponible et transportable. Ce transport indirect de l'électricité engendrée par les machines serait, dans la plupart des cas, plus praticable et plus avantageux que la transmission directe par câbles.

Actuellement, en n'employant que des liquides neufs, le nouveau couple offre déjà une notable économie de matière et de main-d'œuvre sur les couples à acide nitrique.

Quant à la réalisation industrielle du procédé de régénération qui doit rendre ma pile économiquement applicable aux petits moteurs électriques et à l'éclairage privé, elle est encore retardée par certaines difficultés d'ordre pratique qui ne me paraissent pas insurmontables.

Digitized by Google

SÉANCE DU 16 JUILLET 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Godefroy (l'abbé), professeur au Séminaire de La Chapelle (Loiret).

M. Persoz dépose un pli cacheté qui est accepté par la Société sous toutes réserves.

Le Secrétaire général signale un nouvel avertisseur téléphonique proposé par l'abbé Godefroy. Le principe de cet appareil est déjà connu : il consiste à faire parler le téléphone récepteur par un courant de pile rapidement interrompu ; mais ce qui recommande la disposition imaginée par M. Godefroy, c'est son extrême simplicité. L'interprétation du courant auxiliaire est produite à l'aide d'une lime et d'un fil qu'on promène à sa surface et le bruit produit est si intense qu'on peut l'entendre à l'air libre à une distance supérieure à 100^{m}.

M. Trouvé décrit la méthode qu'il emploie pour obtenir des aimants rectilignes ou des aimants en fer cheval d'une force portative constante qui est, par exemple, de 15 fois leur poids pour les aimants droits et de 45 pour les aimants en fer à cheval. Il choisit pour les former l'acier qui offre le plus fort magnétisme rémanent avant la trempe, et il trouve que, dans les conditions où il s'est placé, la force portative de l'aimant trempé est à celle de l'aimant non trempé dans un rapport constant quel que soit l'acier employé. L'acier d'Allevard donne les meilleurs résultats.

M. Trouvé décrit et fait fonctionner devant la Société divers modèles de moteurs électriques de son invention dont l'un met en mouvement une machine à coudre.

M. Marcel Deprez élève une réclamation à l'égard de l'un de ces moteurs, analogue à la machine de Ladd et qui est construit d'après

Digitized by Google

des principes qui ne diffèrent pas essentiellement de ceux qu'il a lui-même indiqués.

M. Joubert communique les résultats de ses recherches sur les courants alternatifs et la force électromotrice de l'arc électrique.

MM. Marcel Deprez et Hospitalier présentent diverses observations sur la mesure de l'intensité des courants alternatifs.

M. Gariel décrit un compteur électrique totalisateur construit par M. Dumoulin-Froment pour les usines à gaz. A l'instant où chacun des compteurs individuels enregistre 1^{mc} de gaz, il ferme un circuit électrique correspondant à un électro-aimant du totalisateur; la palette de celui-ci est munie d'un ressort antagoniste si faible, qu'elle demeure attachée à l'électro-aimant, en vertu de son magnétisme rémanent, jusqu'à ce qu'une cause extérieure agisse pour la détacher. Il y a sur le totalisateur autant d'électro-aimants et de palettes que de compteurs individuels. Un arbre portant autant de cônes, à des distances angulaires constantes les unes des autres et en face des palettes, tourne d'un mouvement uniforme, réglé par un pendule conique. Quand un cône rencontre une palette d'électro-aimant adhérente, elle la détache, et le totalisateur enregistre ce dernier mouvement. Si, par un hasard défavorable, on imagine que les n compteurs individuels enregistrent à la fois, de sorte que toutes les palettes adhèrent au même instant à leurs électro-aimants respectifs, elles ne seront détachées par les cônes que de $n^{ième}$ en $n^{ième}$ tour, et, par suite, l'indication sera répétée n fois sur le totalisateur, tout comme si les compteurs avaient enregistré à des époques différentes.

Sur les courants alternatifs et la force électromotrice de l'arc électrique; par M. J. Joubert.

Les courants alternatifs, tels que les donnent les machines magnéto-électriques du type de l'*Alliance* ou des types plus récents et plus parfaits de Gramme et de Siemens, ont été jusqu'ici peu étudiés, ce qui s'explique par les difficultés qu'on rencontre quand on veut appliquer les méthodes et les instruments ordinaires à des

Digitized by Google

courants d'une grande intensité et qui changent de sens *cent* ou *deux cents fois* par seconde.

Les méthodes calorimétriques et l'électrodynamomètre peuvent seuls être employés, et encore se présente-t-il, surtout avec ce dernier instrument, des difficultés particulières. Si l'instrument est mis sur le circuit principal, il est difficile, même en le formant de fils très gros et lui donnant des dimensions considérables, de l'empêcher de s'échauffer outre mesure; s'il est mis en dérivation, les effets d'induction du courant sur lui-même mettent en défaut les lois ordinaires des courants dérivés.

Je me suis servi avec beaucoup d'avantage, pour cette étude, de l'électromètre Thomson, en l'employant d'une manière particulière et que je crois nouvelle. Je supprime complètement toute source étrangère d'électricité pour charger soit l'aiguille, soit les cadrans; les deux paires de cadrans sont isolées, et l'une d'elles est mise en communication électrique permanente avec l'aiguille, également isolée.

La formule générale de l'électromètre,

$$d = K(V_1 + V_2)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right),$$

dans laquelle d est la déviation de l'aiguille, V_1 et V_2 les potentiels du cadran, et V celui de l'aiguille, se réduit dans le cas actuel, où $V = V_1$, à

$$d = \frac{K}{2}(V_1 - V_2)^2;$$

la déviation est proportionnelle au carré de la différence des potentiels des deux cadrans, et par suite indépendante du signe de cette différence. Supposons d'abord les cadrans mis en communication avec deux points A et B d'un circuit traversé par un courant continu d'intensité I.

Soient V_1 et V_2 les potentiels des deux points A et B, et R la résistance du conducteur qui les sépare; on a

$$(1) \qquad IR = V_1 - V_2.$$

Si entre les deux autres points A' et B', au lieu d'un simple conducteur, on a un moteur électrique ou tout autre engin capable de

Digitized by Google

transformer l'énergie électrique en quelque autre forme de l'énergie, on a à considérer, outre la résistance propre R′ du moteur au repos, la force électromotrice E dont il est le siège pendant le mouvement, et l'équation devient

$$E + IR' = V'_1 - V'_2. \qquad (2)$$

Enfin l'énergie électrique consommée entre les deux points A′ et B′ a pour expression

$$I(E + IR') = \left[\frac{(V_1 - V_2)(V'_1 - V'_2)}{R}\right]. \qquad (3)$$

Les valeurs des seconds membres des équations (1) et (2) sont fournies immédiatement et sans calcul par l'électromètre, si on l'a gradué en volts au moyen d'une pile de Daniell.

Un électromètre donnera donc la mesure de l'intensité du courant, et deux électromètres combinés celle de l'énergie consommée par l'engin de transformation.

Si, au lieu d'un courant continu, on a affaire à des courants alternatifs se succédant à des intervalles petits relativement à la durée de l'oscillation de l'aiguille, celle-ci, entraînée toujours dans le même sens, quel que soit le signe du courant, prend une déviation fixe proportionnelle à la moyenne des valeurs successives du carré de $V_1 - V_2$. Cette moyenne est celle que donnerait, abstraction faite des difficultés signalées plus haut, l'emploi des méthodes calorimétriques ou de l'électrodynamomètre. Il faut remarquer qu'elle n'est pas identique à la moyenne proprement dite et que l'écart ne peut être connu que si l'on connaît la loi de variation de $V_1 - V_2$ en fonction du temps ([1]).

J'ai déterminé cette loi de varition pour une machine Siemens à courants alternatifs. Le principe de la méthode consiste à diviser la période en un certain nombre de parties égales, vingt par

---

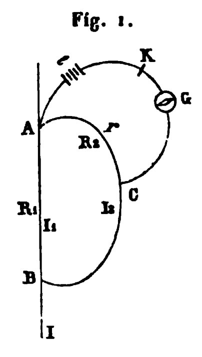
([1]) Pour faire brûler une bougie Jablochkoff dans les conditions normales (charbons de $0^m,004$, intensité lumineuse équivalant à 50 becs Carcel), il faut un courant dont l'intensité moyenne soit de 8 à 9 webers; la bougie s'éteint quand l'intensité tombe au-dessous de 5 webers; les charbons rougissent dans toute leur longueur quand elle atteint 11 webers. La chute moyenne de potentiel entre les deux charbons varie de 40 à 45 webers.

Digitized by Google

exemple, correspondant, je suppose, à des intervalles de $\frac{1}{2000}$ de seconde, et à mesurer l'intensité ou la différence de potentiel à chacun de ces instants. A cet effet, un petit interrupteur placé sur l'arbre même de la machine établit à chaque tour un contact qui dure moins de $\frac{1}{20000}$ de seconde. On peut se servir de l'électromètre disposé comme ci-dessus; dans ce cas, il faut deux interrupteurs parallèles établissant le contact rigoureusement au même instant. A chaque révolution de l'arbre, les cadrans sont mis simultanément en relation pendant la durée du contact avec les deux points A et B et se chargent au potentiel que possèdent ces points à l'instant précis du contact. On peut aussi employer un galvanomètre, puisqu'on prend toujours le courant à un même instant de sa période; il suffit alors d'un seul interrupteur, et l'ajustement est plus commode. Voici la disposition que j'emploie :

A et B sont deux points du circuit principal aux extrémités d'une

Fig. 1.



résistance connue R_1 (1^{ohm} environ); ACB forme entre les deux mêmes points une dérivation de résistance connue et graduée R_2 (100^{ohms}) (¹); enfin AKC est une seconde dérivation de résistance quelconque, mais très grande (30000^{ohms}), qui part du point A et vient aboutir à un point variable C de la résistance R_2, de manière à intercepter entre A et C une résistance variable r. Sur cette dérivation se trouvent une pile de force électromotrice e, le galvanomètre (galvanomètre astatique de Thomson, d'une résistance de

(¹) Il est indispensable que les résistances R_1 et R_2 soient rectilignes, pour éviter les extra-courants. La résistance R_2 dont je me sers est constituée par 18^m environ de charbons Carré, de $0^m,003$ de diamètre.


Digitized by Google

70000^ohms), enfin l'interrupteur K, placé sur l'arbre de la machine. On déplace le contact C jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre soit ramenée au zéro. Il faut remarquer que la compensation est indépendante de la façon dont fonctionne l'interrupteur, puisqu'il commande de la même manière le courant à mesurer et celui de la pile qu'on lui oppose. Soient I, I_1, I_2 les intensités du courant dans le circuit, dans la résistance R_1 et dans la résistance R_2 ; on a évidemment

$$e = I_2 r,$$
$$V = I_2 R^2,$$

et par suite

$$V = e \frac{R_2}{r}.$$

D'autre part, les équations

$$I = I_1 + I_2,$$
$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = V$$

donnent

$$I = \frac{e}{r}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).$$

Tout se réduit donc à la mesure de r aux différentes phases de la période.

J'ajoute qu'une espèce de phénakisticope monté également sur l'arbre de la machine permet de voir l'arc au même instant et pendant le même temps, et d'étudier optiquement la succession des phénomènes dont il est le siège pendant le cours d'une période.

L'expérience m'a donné pour l'intensité une courbe qui se confond presque rigoureusement avec une sinusoïde, sauf une très légère dissymétrie qui tend à déplacer le maximum dans le sens du mouvement. Seulement, cette sinusoïde, au lieu d'avoir la position que lui assignerait la théorie, est déplacée tout d'une pièce, dans le sens du mouvement, d'une quantité égale à un huitième environ de la période entière. Un fait analogue se rencontre dans toutes les machines magnéto-électriques, et on l'attribue ordinairement à un retard dans l'aimantation. L'explication ne peut convenir dans le cas actuel : la bobine induite est une bobine sans noyau de fer doux qui se déplace dans un champ magnétique ; d'ailleurs, le déplacement est indépendant de la vitesse et rigoureusement le même pour des

Digitized by Google

vitesses de 400, 700 et 1000 tours par minute. Il est dû évidemment à l'induction du courant sur lui-même ; le courant principal étant de la forme $A \sin x$, le courant secondaire est de la forme $B \cos x$, et la superposition des deux courants donne un courant de la forme $C \sin(x + y)$, ne différant du premier que par l'intensité et par la phase.

J'ai d'ailleurs obtenu la même courbe d'une autre manière. Sans rien changer à l'inducteur, j'ai mis le système induit en communication avec un galvanomètre Thomson à oscillations non amorties. En donnant à la main au système induit des déplacements successifs égaux entre eux et très petits, et en observant l'arc d'impulsion correspondant, on pouvait mesurer en valeur absolue la quantité d'électricité mise en mouvement dans chaque déplacement, et par suite la force électromotrice d'induction correspondante. La courbe obtenue de cette manière est une sinusoïde qui coïncide avec celle que donne le premier procédé, avec cette différence qu'elle occupe la position normale, les effets d'induction secondaire s'annulant ici exactement dans chacun des déplacements (1).

J'ai analysé de la même manière la chute de potentiel entre les deux charbons aux différentes phases de la période. C'était le moyen de résoudre plusieurs questions d'un grand intérêt. Quelle résistance offre au passage de l'électricité l'espace qui sépare les deux charbons? Le courant traverse-t-il cet espace d'une manière continue ou seulement quand son intensité a dépassé une certaine valeur? L'arc agit-il comme une simple résistance ou, comme l'a annoncé M. Edlung, se comporte-t-il à la manière d'une force électromotrice? L'expérience répond de la manière la plus nette à toutes ces questions. Au moment où l'intensité est nulle dans le circuit, la différence de potentiel entre les deux charbons est éga-

(1) L'intensité étant représentée par $C \sin x$, il est facile de vérifier que l'intensité moyenne a pour valeur $\frac{2C}{\pi}$, tandis que la racine carrée de la moyenne des carrés, telle que la fournit l'électromètre, a pour valeur $\frac{C}{\sqrt{2}}$; le rapport des deux moyennes est donc

$$\frac{\frac{A}{\sqrt{2}}}{\frac{2A}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,1\ldots.$$

Digitized by Google

lement nulle ; mais, dans un temps inappréciable, cette différence atteint une valeur de 40 à 45^{volts}, qu'elle conserve presque sans variation jusqu'au moment où le courant atteint de nouveau une valeur très faible. La chute finale de la courbe est très brusque, mais j'ai pu cependant la suivre dans ses détails ; je n'ai pu en faire autant pour l'élévation du commencement, qui semble se produire d'une façon presque instantanée. J'ai constaté de plus ce fait important, que cette différence de potentiel reste la même non seulement pendant toute la période d'un courant d'intensité moyenne donnée, mais encore quand on fait varier dans de larges limites, de plus du simple au double, l'intensité moyenne du courant. Je dois ajouter cependant que cette différence diminue quand l'intensité du courant augmente et que la variation s'élève au maximum à 4^{volts} ou 5^{volts}.

L'explication de ces faits s'impose d'elle-même. La résistance proprement dite de l'arc est très faible ; elle varie avec la température et diminue quand la température augmente. La différence de potentiel qui existe entre les deux charbons est due, pour la plus grande partie, à une force électromotrice, indépendante de l'intensité et qu'on peut évaluer à 30^{volts}.

Les choses se passent entre les deux charbons comme entre les deux électrodes d'un voltamètre : il s'établit tout d'abord, par un phénomène de polarisation dont je réserve l'explication, une chute fixe de potentiel, et, à partir de ce moment, le travail produit dépend uniquement de la quantité d'électricité qui passe et lui est proportionnel.

J'ajouterai que, si l'arc est produit dans un champ magnétique soumis aux mêmes variations périodiques que le courant et dont la direction soit normale au plan des charbons, la chute de potentiel entre les deux charbons prend une valeur plus grande que dans les conditions ordinaires et croissant avec l'intensité du champ.

Je me contente de signaler ce dernier fait, sans insister sur son explication.

Digitized by Google

SÉANCE DU 22 OCTOBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Bell assiste à la séance. M. Antoine Breguet répète devant la Société les expériences de photophonie avec des appareils de M. Bell.

Le photophone de Bell; par M. A. Breguet (1).

M. Alexander Graham Bell, le célèbre inventeur du premier téléphone articulant, a fait, il y a peu de temps, au dernier meeting de l'Association américaine, une communication du plus haut intérêt. Sa découverte consiste dans un instrument appelé par lui *photophone*, parce qu'il sert à transmettre les sons par l'intermédiaire d'un rayon lumineux. Tandis que le téléphone ordinaire nécessite des conducteurs métalliques pour joindre entre elles les deux stations en correspondance, le *photophone* récepteur est tout à fait indépendant de son transmetteur. Il suffit qu'un faisceau de lumière puisse traverser l'espace d'un poste à l'autre sans rencontrer aucun obstacle opaque. Encore verrons-nous que cette condition n'est pas rigoureusement absolue et que certaines natures d'écrans n'empêchent pas toujours les communications verbales de s'établir.

Le principe sur lequel est fondé le photophone est déjà connu depuis plusieurs années. C'est à M. Willoughby Smith que revient l'honneur de l'avoir découvert. Le 12 février 1873, ce physicien annonçait à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres que le sélénium présente une résistance bien plus faible au passage du courant électrique lorsqu'il est exposé à la lumière que s'il se trouve dans l'obscurité.

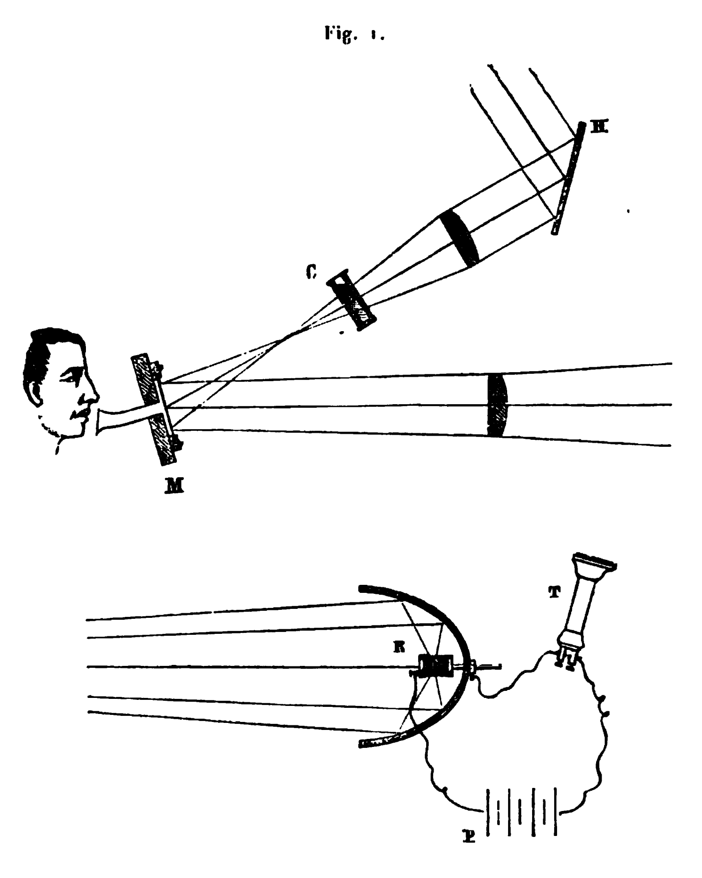
---

(1) Les figures qui accompagnent cet article sont empruntées à la *Revue Scientifique*.

Digitized by Google

La *fig.* 1 présente la forme de transmetteur la plus usitée pour correspondre au moyen de la parole. Le tube à l'embouchure duquel on parle est obturé à son extrémité inférieure par une feuille de verre faisant l'office de miroir M et de moins de $\frac{1}{10}$ de milli-

Fig. 1.



mètre d'épaisseur (¹). Sous l'influence de la parole, c'est-à-dire des vibrations correspondantes de l'air du tube, ce miroir mince se bombe ou se creuse, devient convexe ou concave, et, si un rayon de lumière parallèle provenant d'une source extérieure se réfléchit en H et vient le rencontrer obliquement, celui-ci s'épanouira ou se

(¹) M. Bell s'est servi également de miroirs métalliques, qui sont plus aisés à fabriquer sous des épaisseurs aussi faibles.

Digitized by Google

concentrera ([1]). L'intensité lumineuse qu'il projettera à distance sur une surface donnée changera à chaque instant. Le récepteur de sélénium R subira donc des variations incessantes dans sa résistance, variations correspondant à celles de la pression de l'air dans le tube transmetteur : ce qui revient à dire que la parole sera transmise dans le téléphone récepteur T, placé dans le circuit de la pile P et du sélénium R.

M. Bell fait même remarquer que ce genre de transmetteur doit théoriquement être d'autant plus parfait que la distance entre les deux postes en correspondance est plus grande. Cela résulte, en effet, de ce que la divergence et la convergence des rayons s'exagèrent au fur et à mesure que la distance augmente.

Mais ce dispositif a l'inconvénient d'absorber, en pure perte, beaucoup de lumière, par le seul fait de la réflexion des rayons sur le miroir. Aussi M. Bell croit-il préférable d'employer une lentille formée de deux cercles de verre assez minces pour être flexibles et dont l'intervalle serait occupé par un liquide transparent. L'avantage théorique du transmetteur à miroir se retrouverait dans celui-ci, nous voulons dire qu'il devrait produire des effets d'autant plus accentués sur un récepteur de sélénium qu'il agirait de plus loin sur lui.

La *fig.* 2 représente l'expérience qui consiste à interrompre un rayon de lumière à l'aide d'un disque de phénakisticope tournant avec rapidité. C'est ce rayon interrompu que M. Bell a appelé, pour faciliter le langage, un rayon *vibratoire*.

Les rayons parallèles provenant de la source lumineuse, du Soleil par exemple, se réfléchissent sur le miroir M et sont concentrés à l'aide d'une lentille en un foyer où se trouve le disque perforé D (représenté en plan au bas de la figure). A leur sortie du disque, ces rayons sont reçus sur une autre lentille, qui les rend de nouveau parallèles, afin de leur permettre d'atteindre avec le moins de perte possible le poste récepteur. Dans ce dernier, une nouvelle lentille les force à converger au point O, où doit s'exercer leur influence.

---

[1] Une cuve d'alun C est interposée entre l'héliostat et le miroir récepteur, afin d'empêcher ce dernier d'être détérioré par les rayons calorifiques qui accompagnent toujours les rayons lumineux.

Digitized by Google

Si l'on place en O une feuille d'ébonite mince, et qu'on y applique l'oreille, une note musicale sera perçue très distinctement. Recevons la lumière, non plus sur une feuille d'ébonite, mais sur l'orifice ouvert d'un tube quelconque, dont l'autre extrémité sera maintenue contre l'oreille (c'est l'expérience représentée dans la

Fig. 2.

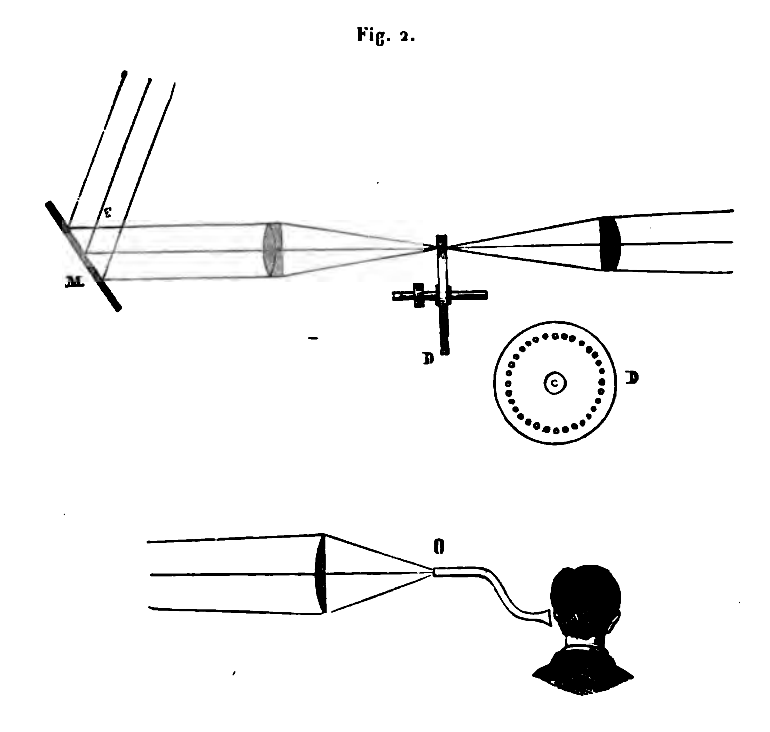


figure) : la note ne cessera pas d'être entendue. Fermons l'orifice libre du tube par une surface opaque absolument quelconque qui recevra directement la lumière : même résultat. Enfin recevons directement dans le conduit auditif le rayon lumineux vibratoire, et nous entendrons toujours la note, dont la hauteur dépend de la vitesse de rotation du disque perforé.

A vrai dire, les sons perçus dans ces expériences ne sont pas d'une très grande intensité, et il est nécessaire, pour les entendre, de se placer dans des conditions de grand silence.

Mais si, au lieu de ces tubes, de ces substances opaques, etc., on emploie du sélénium traversé par le courant d'une pile de

Digitized by Google

6 éléments Leclanché, et que l'on porte à son oreille un téléphone ordinaire placé dans le circuit, l'intensité devient relativement considérable, et il n'est plus besoin, pour réussir l'expérience, de se mettre à l'abri des bruits extérieurs. M. Bell a pu de cette façon percevoir des sons musicaux dans un récepteur placé à plus de *deux kilomètres* de l'appareil transmetteur.

Cet appareil transmetteur est certainement très simple, et la figure suffit à elle seule à l'expliquer; mais nous devons décrire l'appareil récepteur, qui a exigé, de la part de M. Bell et de son collaborateur M. Tainter, un travail assidu avant de se présenter sous une forme satisfaisante.

Quelles sont les conditions que doit remplir le système récepteur?

Elles sont au nombre de deux :

1° Le sélénium doit offrir à la lumière une surface aussi grande que possible.

2° Le sélénium doit être traversé par le courant électrique, de manière à lui offrir une résistance très faible.

Or ces deux conditions sont presque contradictoires, comme il est facile de s'en rendre compte. En effet, si l'on considère un poids donné de sélénium, celui-ci présentera une grande surface à la lumière, s'il est façonné en forme de lame excessivement mince; mais alors le courant qui le traverserait dans sa longueur rencontrerait une résistance considérable.

Au contraire, si deux rhéophores de cuivre de même surface que la lame de sélénium la comprimaient entre elles, le courant traverserait le sélénium d'une plaque de cuivre à l'autre, c'est-à-dire sous une épaisseur très faible, et par conséquent sans rencontrer une résistance sensible; mais, dans ce cas, la surface à impressionner serait réduite à son minimum, puisque les rhéophores cacheraient toute la surface du sélénium et que sa tranche seule serait exposée au jour.

MM. Bell et Tainter sont pourtant parvenus à réaliser simultanément ces deux conditions de la manière suivante.

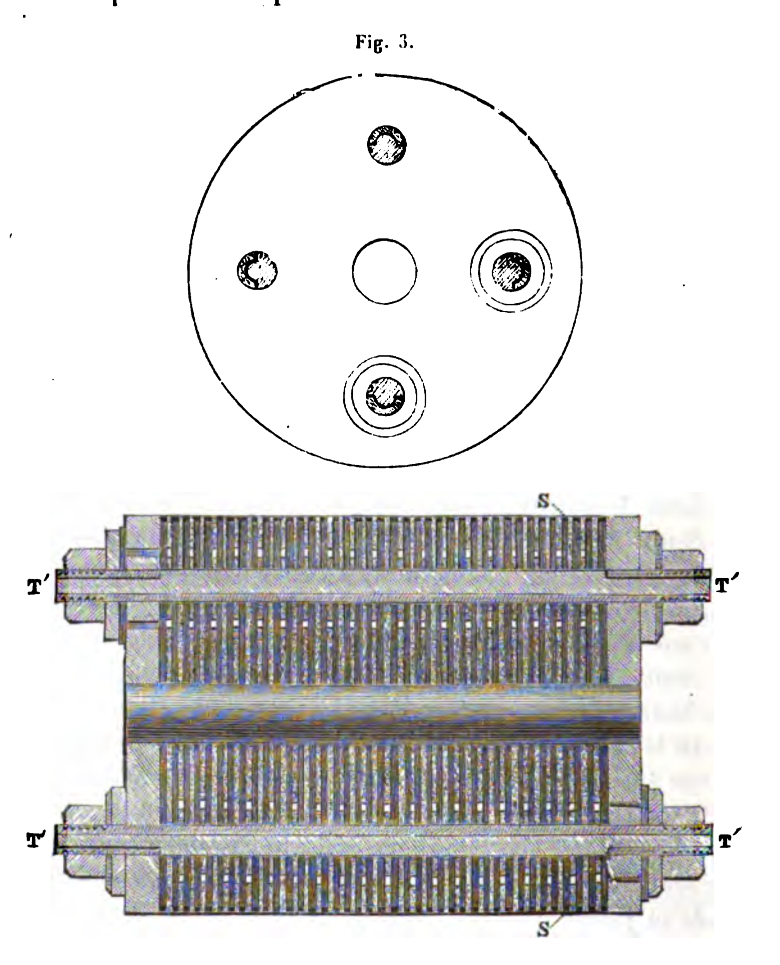
Récepteur cylindrique (*fig.* 3). — Il se compose d'une série de disques annulaires de laiton et de mica serrés les uns contre les autres. Les disques de mica sont d'un diamètre un peu plus faible que ceux de laiton, et la différence est comblée par du sélénium S (représenté en noir sur la *fig.* 3).

Digitized by Google

Le sélénium se présente donc sous la forme de petits anneaux, très peu épais, en contact direct avec les deux disques de laiton qui les limitent, suivant les génératrices du cylindre.

Les disques de laiton pairs sont tous en communication avec l'un

Fig. 3.



des rhéophores TT, et les disques impairs sont en communication avec l'autre rhéophore T′T′. De cette manière, le courant parcourt *en quantité* tous les anneaux de sélénium et ne rencontre par là qu'une résistance extrêmement faible. On voit, en outre, que la surface extérieure du sélénium est considérable, eu égard à sa masse. Ce sont précisément les conditions qu'il fallait réaliser.

Digitized by Google

Pour fabriquer un semblable système, MM. Bell et Tainter ont imaginé un procédé des plus simples. Une fois les disques préparés comme il a été dit ci-dessus, il suffit de maintenir le cylindre que constitue cette pile de disques de mica et de laiton à la température où le sélénium commence à se fondre. On frotte alors sur sa surface un crayon de ce métalloïde, tel qu'on le trouve dans le commerce, et, par cette opération, le sélénium se loge dans les cavités annulaires provenant de la différence des diamètres du laiton et du mica.

Il suffit ensuite d'élever graduellement la température jusqu'à ce que l'aspect métallique du sélénium disparaisse et fasse place à une couleur mate d'un gris ardoise. On éteint la lampe aussitôt, on laisse refroidir, et le récepteur est prêt à fonctionner.

La résistance totale est équivalente à 1200 ohms dans l'obscurité et à 600 ohms à la lumière du jour.

La sensibilité d'un pareil récepteur est tellement grande, que, dans les expériences que nous avons faites ces jours derniers [1], nous avons nettement perçu une note musicale (à l'aide du phénakisticope et du téléphone) lorsque la lumière vibratoire éclairait les anneaux de sélénium après s'être réfléchie sur une substance claire quelconque, telle qu'une feuille de papier, un mouchoir, etc. La lumière d'une bougie suffisait encore à impressionner le sélénium.

Le rapport de la surface de sélénium à la surface totale du cylindre est égal à 0,60.

Le photophone prouve une fois de plus que toute cause capable de modifier les propriétés électriques des corps peut servir à réaliser un téléphone articulant.

Ces modifications peuvent viser la force électromotrice; alors aucune pile, aucune énergie extérieure ne sera mise à contribution : c'est le cas du téléphone de Bell et le cas du téléphone à mercure.

Elles peuvent viser la capacité des corps, et, dans ce cas, aucune dépense d'énergie extérieure ne serait nécessaire. Il n'existe pas d'ailleurs de téléphone fondé sur les variations de capacité, bien

---

[1] Nous employions seulement le courant de 6 éléments Leclanché.

Digitized by Google

que des essais aient été tentés dans ce sens par plusieurs physiciens.

Elles peuvent encore viser la résistance des corps; alors il est indispensable d'introduire un courant électrique, c'est-à-dire une énergie extérieure, dans le système : c'est le cas du microphone, du téléphone d'Edison, et c'est le cas aussi du photophone sujet de cette étude.

SÉANCE DU 5 NOVEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est lu et adopté.

M. le Président résume une Note de M. Schwedoff sur l'origine de la grêle.

M. Schwedoff admet que la grêle n'est pas de provenance terrestre. A l'appui de cette opinion, il invoque un grand nombre de considérations, parmi lesquelles nous nous bornerons à signaler les suivantes : 1° l'abondance extraordinaire de certaines chutes de grêle et la grosseur des grêlons, hors de proportion, d'après M. Schwedoff avec la quantité d'eau que peut fournir la condensation des vapeurs atmosphériques dans les circonstances les plus favorables; 2° la température très basse observée quelquefois sur les grêlons; 3° leur forme très différente de celle des cristaux de neige; 4° la présence à l'intérieur de certains grêlons de noyaux de fer allié de nickel, dont la composition est exactement analogue à celle des météorites.

M. Dufet communique les résultats de mesures opérées sur l'angle des axes optiques de cristaux contenant des proportions variables de sulfate de zinc et de sulfate de magnésie.

M. Robin présente un héliotrope pouvant se transformer en héliostat et qui repose sur le principe de l'antiparallélogramme de Peaucellier.

M. Mascart présente, au nom de M. Duboscq, un réfractomètre interférentiel destiné aux gaz. Les franges d'interférence que l'on

Digitized by Google

observe sont les franges de Talbot; les bilames destinées à séparer les rayons et à obtenir les franges sont manœuvrées, ainsi que les autres pièces mobiles, par des vis de rappel qui rendent facile le réglage de l'instrument.

M. Joubert donne la théorie des machines électromagnétiques.

Sur les propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes;
par M. H. Dufet.

Un cristal formé d'un mélange de deux sels isomorphes a des indices de réfraction qui varient continûment avec la composition, de telle sorte que la variation dans la valeur de l'indice est proportionnelle au nombre d'équivalents d'un des sels introduits dans le mélange. Si N est l'indice du sel mixte, n et n' les indices des sels composants, p et p' les nombres d'équivalents des deux sels, on a

$$N = \frac{pn + p'n'}{p + p'}.$$

Cette loi a été démontrée par des mesures effectuées sur des mélanges de sulfate de nickel et de magnésie, et communiquées dans la séance du 7 juin 1878.

Je l'ai vérifiée plus complètement par des mesures que je me suis efforcé de rendre aussi précises que possible, et portant non plus sur les indices, mais sur l'angle des axes optiques. J'ai étudié ainsi quelques mélanges de sulfates de zinc et de magnésie. La loi précédente permet de calculer, pour un mélange de composition connue, les trois indices principaux, et par suite l'angle des axes, soit intérieur, soit extérieur. L'angle des axes optiques, dépendant des différences entre les indices principaux, varie très rapidement avec ces indices ; il en résulte que la loi se trouve ainsi vérifiée avec un haut degré d'exactitude.

L'angle des axes mesuré directement et l'angle calculé au moyen de la composition des sels s'accordent à quelques minutes près; on ne peut guère espérer, dans des mesures d'angles des axes optiques, obtenir l'angle à plus de 2′ ou 3′ près. On peut donc

Digitized by Google

affirmer que l'écart entre le calcul et l'expérience reste compris dans les limites des erreurs expérimentales. Voici d'ailleurs le Tableau donnant, pour les sels étudiés, la composition centésimale et atomique, l'angle des axes mesuré et l'angle calculé d'après la composition :

SELS.	PROPORTION pour 100 de		ÉQUIVALENTS de		ANGLE EXTÉRIEUR des axes optiques		DIFFÉRENCE.
	$MgO,SO^3,7HO$.	$ZnO,SO^3,7HO$	$MgO,SO^3,7HO$.	$ZnO,SO^3,7HO$.	mesuré.	calculé.	
					° ′ ″	° ′ ″	′ ″
$MgO,SO^3,7HO$	100	0	100	0	78.18	"	"
Mélange 1	78,20	21,80	80,8	19,2	76.55.30	76.58	−2.30
» 2 ...	72,43	27,57	75,5	24,5	76.36	76.37	+1
» 3	38,96	61,04	42,75	57,25	74.15	74.16	+1
» 4	37,20	62,80	40,95	59,05	74. 9	74. 8.40	−0.20
» 5 ...	26,59	73,41	29.8	70,2	73 16	73.17.20	+1.20
$ZnO,SO^3,7HO$	0	100	0	100	70.57	"	"

Les mesures d'angle des axes se rapportent à la raie D.

Le point le plus important, dans une semblable vérification, c'est d'obtenir, pour les deux sels extrêmes de la série, ici le sulfate de zinc et le sulfate de magnésie, les valeurs des trois indices principaux avec une approximation suffisante ; ce sont, en effet, ces indices qui servent à calculer ceux des sels mixtes, et par suite les angles des axes optiques.

Les sels étudiés cristallisent, comme on sait, en prismes orthorhombiques, dont l'arête coïncide avec l'axe de moyenne élasticité. Le caractère optique est négatif ; l'axe de plus grande élasticité, bissectrice de l'angle aigu des axes optiques, est perpendiculaire à un clivage facile, correspondant à la face g^1. Des lames de clivage permettent donc de déterminer l'angle des axes. Les prismes étaient taillés de manière que leur arête coïncidât avec l'axe de moyenne élasticité ; ils donnent comme indice ordinaire l'indice moyen. Cette détermination une fois faite, le prisme est placé sur la plate-forme d'un goniomètre de Babinet, donnant les 10″, et reçoit les rayons incidents sous un angle quelconque ; il donne deux images, dont on détermine la déviation et, surtout avec grand soin, la distance. La déviation ordinaire permet de calculer l'angle d'in-

Digitized by Google

cidence des rayons, et à l'aide de l'angle d'incidence et de la déviation extraordinaire on obtient l'indice extraordinaire. D'ailleurs, l'angle que le rayon intérieur fait avec un des axes d'élasticité se détermine facilement, une fois les mesures terminées, en clivant le prisme, ce qui donne une face perpendiculaire à l'axe de plus grande élasticité. On obtient ainsi l'indice extraordinaire avec la même approximation que l'indice moyen. Les différentes valeurs de l'indice extraordinaire n ainsi obtenues sont reliées aux deux indices cherchés α et γ par la relation connue

$$(1) \qquad \frac{1}{n^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\gamma^2}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\gamma^2}\right)\cos 2(r - \psi),$$

où r désigne l'angle du rayon intérieur avec la normale à une face, et ψ l'angle de cette même normale avec l'axe de plus grande élasticité.

Si l'on appelle β l'indice moyen et θ le demi-angle intérieur des axes optiques, on a, comme on le sait, l'équation

$$(2) \qquad \frac{1}{\beta^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\gamma^2}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\gamma^2}\right)\cos 2\theta.$$

Sans entrer dans les détails du calcul, il est facile de voir, en discutant l'équation (1), que le mode de calcul le plus exact consiste à combiner l'équation (2) avec l'équation (1), prise pour des valeurs de n voisines de α. C'est ainsi que j'ai opéré. Les valeurs des indices trouvées avec divers prismes ne différaient que par la cinquième décimale. Voici les valeurs moyennes :

	γ.	β.	α.
Sulfate de magnésie	1,46083	1,45529	1,43207
Sulfate de zinc..........	1,48445	1,48010	1,45683

On peut aussi donner à r des valeurs voisines de ψ, de manière à déterminer directement l'indice γ. Les valeurs de α et de γ ainsi trouvées, indépendamment de l'angle des axes, doivent le donner pour le calcul, si elles sont suffisamment exactes. Pour le sulfate de zinc, les indices donnés par quatre prismes, dont deux donnaient des valeurs de n voisines de α et deux des valeurs voisines de γ, sont

$$\gamma = 1,484405 \quad \text{et} \quad \alpha = 1,45682.$$

Digitized by Google

L'angle des axes calculé est de 45°88' au lieu de 46° 10'.

Dans toutes ces mesures, les prismes étaient recouverts de lames de glace, à faces à peu près parallèles, qui étaient d'abord étudiées au goniomètre, de manière à permettre, sous chaque incidence, de faire des corrections convenables aux déviations observées. Je préfère employer des lames franchement prismatiques, pourvu que l'angle ne dépasse pas quelques minutes; les faces sont plus planes et les images meilleures. Ces calculs de correction ne présentent d'ailleurs aucune difficulté; ils sont longs et fastidieux, mais sont nécessaires pour obtenir l'exactitude que j'espérais atteindre.

Je crois, en définitive, avoir démontré, au moins pour les sulfates de la série magnésienne, l'existence de la loi que j'ai énoncée. Cette loi existe-t-elle d'une manière aussi précise pour d'autres sels isomorphes? Je pense, comme je l'ai établi dans ma première Note, qu'il en est ainsi toutes les fois que les sels ont le même équivalent en volume, c'est-à-dire lorsque la densité est proportionnelle à l'équivalent. C'est ce qui arrive dans de nombreuses séries de sels isomorphes, comme Kopp l'a démontré par des mesures directes.

Note sur quelques applications des systèmes articulés;
par M. Paul Robin.

Les systèmes articulés permettent de donner à un certain nombre de problèmes géométriques des solutions utilement applicables aux appareils scientifiques : par exemple, l'isoclinostat de Kemp fournit un nombre quelconque d'angles adjacents égaux. Rappelons-en le principe.

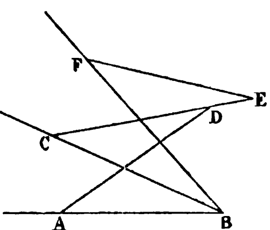
On sait qu'un antiparallélogramme est un quadrilatère dont les côtés opposés sont égaux et dont les grands côtés se croisent. Comme pour les triangles, il est aisé de voir que deux antiparallélogrammes qui ont deux angles égaux chacun à chacun sont semblables, et inversement, d'où il découle que deux antiparallélogrammes articulés semblables resteront semblables dans toutes leurs déformations.

Soit l'antiparallélogramme ABCD (*fig.* 1). Sur le grand côté CB,

Digitized by Google

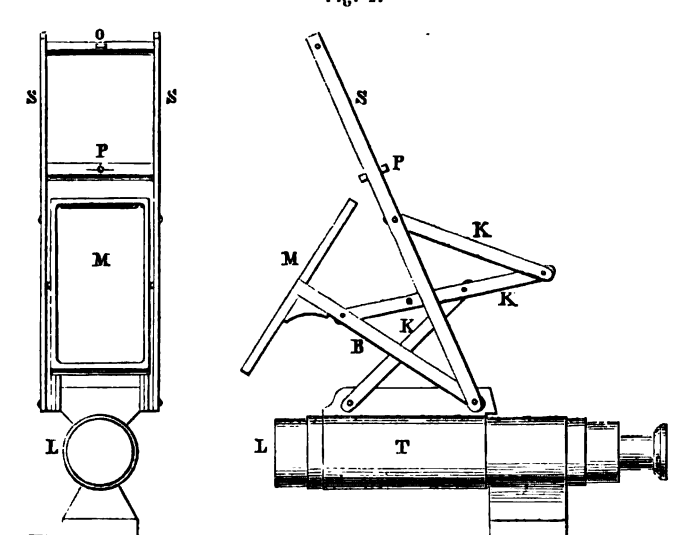
devenant un de ses petits côtés, construisons l'antiparallélogramme semblable CBFE, de même sur ce nouveau grand côté FB, et ainsi de suite. Les angles ABC, CBF, ... seront égaux dans toutes les déformations possibles de l'appareil.

Fig. 1.



L'appareil de Kemp dérive du système articulé à quatre barres de Hart, comme celui de Sylvester dérive du système à sept barres de Peaucellier. Tous deux résolvent le problème géométriquement insoluble de la division des angles.

Fig. 2.



Héliotrope. — Cela posé, voici comment j'applique le système de Kemp à la construction d'un héliotrope.

Une lunette L (*fig.* 2) est dirigée vers le point auquel on doit

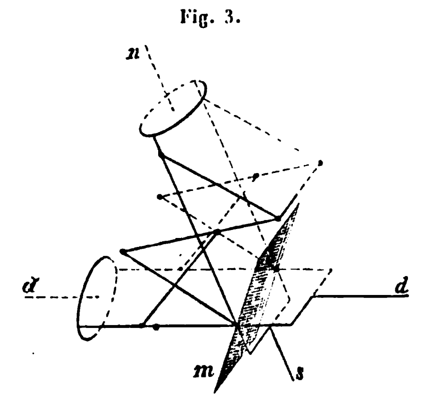
Digitized by Google

envoyer le rayon solaire. Autour de cette lunette tourne à frottement un tuyau T qui porte l'héliotrope ; une baguette S, ou plutôt les deux montants d'un cadre, sont dirigés vers le Soleil ; on s'assure que cette condition est remplie quand un rayon passant par un orifice O, percé à la partie supérieure du cadre, vient illuminer un point P marqué sur une traverse placée plus bas sur ce même cadre. Un autre cadre B est maintenu constamment dans le plan bissecteur de l'angle formé par l'axe de la lunette et le cadre précédent, à l'aide des barres K de l'isoclinostat de Kemp. Perpendiculairement à ce bissecteur est fixé un miroir M, qui est par suite automatiquement placé de manière à réfléchir les rayons solaires dans la direction demandée.

La lunette reste fixée pendant toute la durée de l'expérience; l'observateur n'a qu'à maintenir le point lumineux sur la marque P.

Héliostat. — On peut faire, sur le même principe, un héliostat à régulateur, pouvant servir aux expériences ordinaires. Le diagramme ci-joint (*fig.* 3) en indique la construction. Le miroir

Fig. 3.



passe toujours par le point de rencontre des axes de rotation, de manière à éviter le léger déplacement sans inconvénient dans l'appareil précédent. Une tige *s*, prolongeant inférieurement la ligne médiane du cadre dirigé vers le soleil, est forcée par un mécanisme d'horlogerie à décrire autour de l'axe du monde le cône voulu.

Un avantage de ces appareils est de n'avoir aucune glissière, rien que des pivots; une grande précision peut, grâce à cela, s'obtenir avec beaucoup plus de facilité ; de plus, l'étendue des mouvements

Digitized by Google

possibles est complète, et l'on peut donner aux rayons réfléchis une direction quelconque, horizontale ou non. Le deuxième appareil peut à toute époque suivre le Soleil de son lever à son coucher, sans être arrêté par aucun obstacle matériel; enfin, les mouvements sont toujours d'une parfaite douceur, comme dans tous les appareils qui ont pour origine l'invention de M. Peaucellier.

Théorie des machines à courants alternatifs; par M. J. Joubert.

J'ai indiqué, dans la séance du 16 juillet dernier, les méthodes que j'applique à l'étude des machines magnéto-électriques; je vais donner maintenant les principaux résultats auxquels elles m'ont conduit.

Je rappellerai d'abord que les machines à courants alternatifs, qui toutes se rattachent plus ou moins directement à la machine de Clarke, se composent de deux organes essentiels : l'un, composé d'aimants fixes ou d'électro-aimants, détermine un champ magnétique constant, c'est le système *inducteur;* l'autre, appelé *système induit,* est formé de bobines avec ou sans noyau de fer doux; ces bobines, par suite de leur déplacement dans le champ de l'inducteur, sont le siège des courants d'induction que l'on utilise dans la machine. Quant aux électro-aimants de l'inducteur, ils sont ordinairement animés par une machine à courants continus, indépendante ou montée sur le même arbre, et qu'on appelle *machine excitatrice.*

La théorie élémentaire de ces machines est très simple : pour un déplacement quelconque du système induit par rapport à l'inducteur, la force électromotrice d'induction est proportionnelle à la variation du nombre des lignes de force, ou mieux du flux de force embrassé par le contour total du circuit induit.

Prenons comme exemple la machine de Clarke et supposons qu'une des bobines induites soit vis-à-vis du pôle A; soient S la surface totale comprise par les spires et H l'intensité moyenne du champ dans la région occupée par la bobine; le flux total de force qu'elle comprend a pour valeur SH. Quand la même bobine

Digitized by Google

sera devant le pôle B, il sera — SH, les valeurs de H en A et en B étant égales et de signes contraires. Quand la bobine passera de A en B, la variation totale du flux sera 2SH. La force électromotrice correspondant à ce déplacement aura pour expression ce même produit, et, si R est la résistance du circuit, la quantité d'électricité mise en mouvement est égale à $\frac{2SH}{R}$.

A chaque instant le courant est proportionnel à la variation du flux; il est maximum entre les deux pôles, où la variation est le plus rapide, nul en A et en B, où pendant un instant très court cette variation est nulle. Dans la seconde moitié du parcours de B en A, la même succession se reproduit, mais en sens contraire.

Si cette théorie élémentaire était complète, la loi de l'intensité à chaque instant serait la loi d'Ohm et le changement de sens du courant se ferait exactement vis-à-vis des pôles. L'expérience montre qu'il n'en est point ainsi.

Mes recherches ont porté principalement sur la machine à courants alternatifs de Siemens. J'ai dit, dans ma précédente Communication, que l'intensité du champ et celle du courant à chaque instant suivent exactement, dans cette machine, la loi des sinus, mais que les deux sinusoïdes présentent l'une par rapport à l'autre une différence de phase variable avec la vitesse de rotation et la résistance du circuit.

La question la plus importante au point de vue pratique est la loi de variation de l'intensité moyenne avec la résistance. Cette intensité moyenne est la racine carrée de la moyenne des carrés des intensités à chaque instant. C'est elle que donne l'électromètre, employé comme il a été dit précédemment.

Des expériences nombreuses, faites avec des résistances variant de quelques ohms jusqu'à 100 et avec des vitesses allant de 100 à 1200 tours par minute, m'ont montré que cette intensité moyenne satisfait exactement à la relation

$$(1) \qquad I = \frac{e}{(R^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}},$$

dans laquelle R est la résistance totale du circuit, a une constante qui ne dépend que de la vitesse et lui est proportionnelle, enfin e

Digitized by Google

une autre constante égale au quotient par $\sqrt{2}$ de la force électromotrice maxima de la machine en circuit ouvert ([1]).

La simplicité de ce résultat et la concordance parfaite de la formule avec les expériences m'ont fait penser que j'étais en présence, non pas seulement d'une formule empirique, mais de l'expression même de la loi du phénomène. J'ai donc cherché à retrouver cette formule par la théorie.

Supposons la machine à l'état de mouvement uniforme. Soient, à un instant donné, E la valeur de la force électromotrice due au champ primitif et i l'intensité du courant. Le travail électrodynamique pendant le temps dt est égal à $E\,i\,dt$, et ce travail, si le courant ne produit dans le circuit aucun travail mécanique, chimique ou lumineux, doit se retrouver tout entier dans le travail calorifique du courant $i^2 R\,dt$ et dans le travail des forces électromotrices inverses qui naissent des réactions des diverses parties de la machine. L'expérience montre que les réactions sur les électro-aimants inducteurs sont négligeables. Les réactions se réduisent donc à l'induction du circuit induit sur lui-même. Si l'on représente par U le flux de force émanant du système induit quand il est traversé par l'unité de courant, c'est-à-dire le coefficient de *self-induction*, et par di la variation de l'intensité pendant le temps dt, pendant le même temps la variation du flux de force, et, par suite, la force électromotrice, sera $U\,di$, et le travail correspondant aura pour valeur $U\,i\,di$. On aura donc, pour l'équation qui exprime que l'énergie s'est conservée,

$$E\,i\,dt = i^2 R\,dt + U\,i\,\frac{di}{dt}\,dt.$$

ou, en divisant par i et par dt,

$$E = iR + U\frac{di}{dt}, \tag{2}$$

équation dans laquelle il faut prendre $E = E_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}$, T étant la durée de la période.

([1]) Grâce à l'interrupteur décrit précédemment, et qui me permet de saisir le phénomène à étudier à un instant quelconque de sa phase, j'ai pu mesurer la force électromotrice de la machine en circuit ouvert. Il suffit de mettre une des extrémités du circuit en communication avec le sol et l'autre, par l'intermédiaire de l'interrupteur, en communication avec le plateau du *portable electrometer* de Thomson.

Digitized by Google

En posant

$$\text{(3)} \qquad \operatorname{tang} 2\pi\varphi = \frac{2\pi}{T}\frac{U}{R};$$

l'intégrale de l'équation (2) peut s'écrire

$$i = \frac{E_0}{\left(R^2 + \frac{4\pi^2 U^2}{T^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right) = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right),$$

la constante étant déterminée par la condition que $t = \varphi T$ quand l'intensité est nulle. L'intensité du courant à chaque instant est donc représentée par une sinusoïde dont A est l'amplitude et φ la phase.

On déduit de là pour l'intensité moyenne

$$\text{(4)} \qquad I = \frac{\frac{E_0}{\sqrt{2}}}{\left(R^2 + \frac{4\pi^2 U^2}{T^2}\right)^{\frac{1}{2}}},$$

formule qui coïncide avec celle que m'avait donnée l'expérience.

L'expérience montre que E_0 varie proportionnellement à l'intensité du champ et à la vitesse. Si l'on appelle e_0 la valeur maximum de la force électromotrice quand, pour une intensité donnée du champ, la vitesse est de 1 tour par seconde, et qu'il y ait n périodes par tour,

$$E_0 = \frac{e_0}{nT},$$

et la formule de l'intensité devient

$$\text{(4)} \qquad I = \frac{e_0}{n\sqrt{2}(R^2T^2 + 4\pi^2U^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

La discussion de cette formule va nous conduire à quelques remarques intéressantes.

Le travail électrodynamique total de la machine a pour expression

$$W = RI^2 = \frac{Re_0^2}{2n^2(R^2T^2 + 4\pi^2U^2)}.$$

Digitized by Google

Cette expression tend vers zéro quand la résistance augmente indéfiniment et devient nulle quand le circuit est ouvert; l'expérience montre en effet que dans ce cas on n'a d'autre travail à vaincre que celui des résistances passives ([1]). Mais, contrairement à ce qui se passe avec une pile, le maximum ne correspond pas à une résistance extérieure nulle. Le travail croît d'abord quand la résistance augmente et passe par un maximum qui correspond à l'équation

$$R = a = \frac{2\pi U}{T}.$$

L'équation de la phase donne alors

$$\operatorname{tang} 2\pi\varphi = 1 \quad \text{ou} \quad \varphi_m = \frac{1}{8}.$$

Le retard est égal au quart de l'intervalle qui sépare deux pôles consécutifs de signes contraires. Pour $R = \infty$, ce retard est nul; quand R ou T décroît indéfiniment, φ tend vers la valeur $\frac{1}{4}$; autrement dit, le retard tend à devenir égal à la moitié de l'intervalle qui sépare les deux pôles consécutifs.

L'équation (4) montre que l'intensité ne croît pas indéfiniment avec la vitesse, mais qu'elle tend vers une valeur limite

$$I_0 = \frac{e_0}{n\sqrt{2}.2\pi U};$$

celle qui correspond au travail maximum est

$$I_m = \frac{e_0}{4n\pi U};$$

par suite,

$$\frac{I_m}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

On voit que, si l'on fait $RT = \text{const.}$, I est constant; par suite, on peut toujours, quelle que soit la résistance du circuit, avec une

[1] Il n'en est pas de même si le système mobile dans le champ magnétique renferme des pièces métalliques, et en particulier des masses de fer doux.

Digitized by Google

vitesse convenable, obtenir une intensité donnée inférieure au maximum. En particulier, on peut toujours obtenir l'intensité qui correspond au maximum de travail.

L'intensité du champ et la vitesse sont deux éléments pour ainsi dire extérieurs à la machine ; il en est trois autres qui tiennent à sa constitution même : la force électromotrice, la résistance intérieure et le coefficient de *self-induction*.

J'ai déjà dit que l'expérience montrait que la force électromotrice est rigoureusement proportionnelle à la vitesse et à l'intensité du champ ; j'ajoute que dans cette classe de machines la force électromotrice est très grande : c'est là un de leurs caractères distinctifs. Par exemple, la machine Siemens dont je me suis servi, marchant à la vitesse normale de 720 tours et avec une intensité de 20 webers pour le courant inducteur, a une force électromotrice qui atteint 500 volts au moment du maximum et dont la valeur moyenne est de 350 volts. Avec une vitesse de 1500 tours et un courant excitateur de 30 webers, elle a une force électromotrice moyenne de 1000 volts, la valeur du maximum étant de 1500.

Ce fait explique comment les machines à courants alternatifs sont particulièrement propres à la division de la lumière électrique.

La plupart des machines à courants continus n'ont qu'une force électromotrice beaucoup plus faible. Les machines Gramme ordinaires (type d'atelier) ont une force électromotrice d'environ 80^{volts}.

Relativement aux deux autres constantes, considérons deux cas extrêmes, ceux où chacun des termes du dénominateur est négligeable devant l'autre. Si le terme $2\pi U$ est négligeable devant RT, la machine suit à très peu près la loi d'Ohm ; elle se comporte comme une pile dont on pourrait à volonté faire varier la force électromotrice sans changer en même temps la résistance intérieure. C'est l'état vers lequel tend la machine quand la résistance extérieure augmente indéfiniment.

Supposons au contraire le terme RT négligeable devant $2\pi U$; dans certaines limites, l'intensité sera peu influencée par les variations de R. Ce cas est celui dont se rapprochent les machines dans les conditions où elles fonctionnent ordinairement. La vitesse est toujours très grande et la résistance extérieure médiocre. Dans ces

Digitized by Google

conditions, la résistance intérieure de la machine, en tant que résistance, n'a qu'une influence tout à fait secondaire.

Les deux constantes e_0 et U sont les véritables *caractéristiques* de cette classe de machines. En général, on ne peut modifier l'une sans modifier l'autre en même temps; mais le rapport de ces deux quantités peut varier d'une manière pour ainsi dire arbitraire. Quand le terme $2\pi U$ est prépondérant dans le dénominateur, les variations de U ont une influence énorme sur l'intensité.

La formule permet d'ailleurs, dans chaque cas particulier, de répondre aux diverses questions que soulève la pratique, qu'il s'agisse soit du groupement des bobines, soit de la longueur ou du diamètre du fil qui doit garnir chacune d'elles.

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Faverger, ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse);
Rodde (Léon), ingénieur, à Rio-Janeiro (Brésil).

Le Président communique à la Société les nombreux témoignages de regret qu'il a reçus de toutes parts à l'occasion de la perte douloureuse que la Science et la Société de Physique ont faite en la personne de M. d'Almeida.

M. Bouty est chargé provisoirement de remplir les fonctions de Secrétaire général.

M. Mercadier présente ses expériences récentes sur les faits de photophonie découverts par M. Bell.

A propos de la Communication de M. Mercadier, M. Cros rappelle la théorie qu'il a proposée et qui lui a permis de prédire long-

Digitized by Google

temps d'avance tous ces phénomènes. M. Cros pensait que, si les corps réfringents agissent sur la lumière, inversement et par réaction la lumière doit agir sur les corps, en tendant à diminuer leur réfringence et par suite leur densité.

M. Cornu dit que quelques physiciens ont pensé que les atomes pondérables participaient aux vibrations de l'éther; de là à une action mécanique de la lumière il n'y a qu'un pas. Mais les vibrations lumineuses sont trop rapides pour produire un son perceptible, et la difficulté existe toujours pour expliquer la transformation des vibrations lumineuses en vibrations sonores.

M. Cros dit que, dans sa pensée, le son produit doit dépendre du nombre des éclipses lumineuses et non de la période des vibrations lumineuses elles-mêmes.

M. Lippmann fait observer que, lorsque la lame employée par M. Mercadier est transparente, la paroi du tube, qui est en bois, est soumise à un éclairement intermittent, et que par suite cette paroi elle-même devient aussi sonore, ainsi que l'a constaté M. Bell.

M. Bertin expose et projette devant la Société la première série de ses expériences sur le radiomètre électrique. Lorsque la pression de l'air dans le radiomètre est de 130^{mm}, la rotation commence, mais elle est incertaine; à 90° elle est décidée, mais toujours déterminée par un défaut de symétrie de l'appareil. A 30^{mm}, elle n'a plus lieu, mais on la produit avec l'étincelle en chauffant l'un des tubes: elle a lieu comme si le vent soufflait du pôle froid au pôle chaud. Cette expérience est projetée avec une pression de 27^{mm}. A 15^{mm}, la rotation électrique a lieu seule, et elle est positive (le vent paraît venir du pôle +); l'expérience est projetée sous la pression de $13^{mm},5$. A 10^{mm}, la rotation est nulle. De 5^{mm} à 2^{mm}, elle est négative (l'expérience est projetée; pression, 3^{mm}). De 2^{mm} à $0^{mm},2$, rotation nulle. A $0^{mm},1$ et au-dessous, la rotation est toujours négative; le tube négatif est fluorescent; l'expérience est projetée, la pression étant de $0^{mm},005$.

Digitized by Google

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Alexandre (Henri), élève à l'école Centrale;
Banet-Rivet, professeur de Physique au Lycée de Nice;
Delaurier, ingénieur, à Paris;
Geraldi (Franck), ingénieur, à Paris;
Hudelo, répétiteur à l'École Centrale;
Leblanc, ancien élève de l'École Polytechnique;
Mestre, ancien élève de l'École Polytechnique;
Noaillon, ingénieur civil à Boulogne-sur-Seine.

Le Président donne lecture de la Lettre suivante, adressée par la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg :

« Saint-Pétersbourg, 16/28 novembre 1880.

« *A la Société française de Physique.*

» La Section de Physique de la Société physico-chimique russe, ayant reçu pendant la séance du 4-16 novembre la triste nouvelle de la mort de M. Ch. d'Almeida, s'empresse de présenter à la Société française de Physique ses sincères condoléances. L'activité scientifique de M. d'Almeida a toujours été hautement appréciée en Russie; son *Journal de Physique* y jouissait d'une réputation bien méritée, et l'autorité de son éminent rédacteur était entièrement reconnue par les physiciens russes. La Société physico-chimique russe lui est tout particulièrement reconnaissante, car c'est grâce à sa bienveillante intervention que les travaux scientifiques des membres de cette Société parvenaient à la connaissance du public français.

» *Pour le Président,*
» A. Gadolin.

» *Le Secrétaire,*
» N. Heséhus. »

Digitized by Google

M. Pellat communique les résultats des recherches qu'il a faites sur les forces électromotrices de contact des métaux.

M. Mercadier expose la suite de ses dernières recherches relatives à la radiophonie.

Recherches sur les différences de potentiel de deux métaux au contact; résultats; par M. H. Pellat.

La méthode que j'ai imaginée pour faire l'étude de l'électricité de contact des métaux a été exposée précédemment (*Journal de Physique*, t. IX, p. 145).

J'ai insisté déjà sur la nature de la quantité mesurée par toutes les méthodes électroscopiques et par la mienne en particulier: c'est *la différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent les deux métaux au contact et en équilibre.* Cette quantité, parfaitement définie, est une constante pour deux corps conducteurs dans un même milieu isolant. Nous la désignerons, pour abréger, par *différence de potentiel apparente* des deux corps.

Je vais indiquer maintenant les principaux résultats de cette étude.

I.

La différence de potentiel apparente de deux métaux dépend essentiellement de la nature de leur couche superficielle et varie, dans des proportions parfois considérables, avec les changements chimiques ou simplement physiques de la surface.

Pour montrer l'influence d'un changement, en apparence insignifiant, dans l'état chimique, je citerai l'expérience suivante. Un disque de cuivre fut nettoyé avec le plus grand soin (tripoli, lavages à l'alcool absolu); sa différence de potentiel apparente avec l'or se trouva égale à $0^{\text{v}},137$ [1]. Ce plateau, placé un instant dans une atmosphère d'acide sulfhydrique, fut retiré avant que la couche de sulfure formée eût atteint une épaisseur suffisante pour changer

---

[1] En prenant comme unité de différence de potentiel la force électromotrice de 1 élément Latimer-Clark.

Digitized by Google

d'une façon appréciable la couleur du cuivre. Le plateau fut ensuite lavé à l'alcool, comme précédemment, et l'on s'assura que l'atmosphère d'acide sulfhydrique qu'il avait pu entraîner avec lui avait disparu. La différence de potentiel apparente avec l'or était devenue $0^{1},201$, nombre bien supérieur au précédent. Le plateau ayant été remis dans l'hydrogène sulfuré jusqu'à ce que sa surface eût pris une teinte bronzée, et nettoyé comme ci-dessus, la différence de potentiel avec l'or resta la même ($0^{1},200$). Dans une autre expérience, la sulfuration fut poussée jusqu'à la couleur pourpre et même bleu foncé : les nombres furent sensiblement les mêmes. Ainsi une couche de sulfure invisible, bien inférieure à une longueur d'onde en épaisseur, produit le même effet qu'une couche beaucoup plus épaisse et masque déjà complètement les propriétés du cuivre.

Des changements purement physiques de l'état de la surface produisent des effets analogues. Montrons-le par un exemple. Un disque de zinc est nettoyé au papier émeri très fin (n° 0 du commerce), puis lavé à l'alcool avec beaucoup de soin. Sa différence de potentiel apparente avec l'or, mesurée immédiatement après, est trouvée égale à $0^{1},698$ (zinc positif); quelque temps après les nombres ont baissé, et ils diminuent de plus en plus avec le temps: au bout de quatorze jours, la mesure donne $0^{1},523$. Quoique le zinc paraisse aussi net qu'au moment où il vient d'être nettoyé, il peut être oxydé d'une façon invisible. Je le nettoie alors au tripoli très fin et je le lave à l'alcool de façon à rendre sa surface parfaitement métallique : la mesure donne $0^{1},607$. Les nombres ont remonté, mais sont bien loin d'égaler ceux qui suivent le polissage à l'émeri ; ils diminuent du reste avec le temps, comme ci-dessus. Le traitement mécaniquement différent produit un état différent de la surface. Pour mieux établir ce point, je polis de nouveau le zinc avec le papier émeri n° 0 en appuyant très fortement ; je lave à l'alcool, et la différence de potentiel apparente avec l'or devient égale à $0^{1},738$: valeur considérable ! Les nombres baissent avec le temps, et le lendemain je trouve $0^{1},690$. A ce moment je nettoie la surface au tripoli et la lave à l'alcool. Si les différences observées tiennent à la nature chimique de la substance qui sert au nettoyage, je dois retrouver maintenant un nombre voisin de $0^{1},607$ (nombre obtenu précédemment après le nettoyage au tripoli). Si

Digitized by Google

les variations tiennent au contraire à une sorte d'écrouissage superficiel dû au traitement mécanique, je dois trouver un nombre voisin de $0^{1},690$ et plutôt plus fort : c'est ce qui a lieu en effet, et je trouve le nombre $0^{1},693$.

L'expérience précédente n'est pas une expérience isolée ; j'en ai fait un très grand nombre à ce sujet, et j'ai reconnu que *tous les métaux* deviennent *plus positifs* quand on écrouit superficiellement la surface ; cet écrouissage diminue avec le temps et le métal se montre moins positif. Le retour de la surface à l'état primitif est rapide (quelques minutes) si l'écrouissage a été tout à fait superficiel, tel que celui qui est produit par le frottement d'un linge ou d'un morceau de papier à filtre ; il est plus lent (plusieurs jours) si l'écrouissage a été plus profond, tel que celui dû au frottement de l'émeri. Du reste, les divers métaux éprouvent des modifications plus ou moins accentuées. Le zinc est un des plus sensibles, le cuivre l'est moins, le plomb encore moins, mais tous les métaux étudiés obéissent à la loi que nous venons d'indiquer.

On ne peut donc se borner à déterminer un seul nombre pour le contact de deux métaux ; il faut absolument avoir égard à l'état physique des surfaces, qui peut faire varier les mesures de quantités allant parfois jusqu'au quart de la valeur moyenne.

L'état de poli ou de dépoli des surfaces semble n'avoir aucune influence sur les nombres.

II.

J'ai cherché si la nature ou la pression d'un gaz inerte entourant les métaux influençait leur différence de potentiel apparente (¹). A cet effet, deux plateaux métalliques, l'un en zinc, l'autre

(¹) Ces recherches ont été exécutées en novembre et décembre 1879 et janvier 1880, et présentées succinctement à l'Académie des Sciences dans sa séance du 26 avril 1880. Jusqu'alors aucune expérience de ce genre n'avait été faite, car, si quelques auteurs ont pensé à employer une atmosphère artificielle, les uns, comme Pfaff ou M. Exner, avaient verni ou recouvert de paraffine les faces en regard des métaux, qui, par là, étaient soustraites à l'action du gaz ; d'autres, comme M. Brown, ont employé l'acide sulfhydrique ou l'acide chlorhydrique qui, en altérant chimiquement le métal (zinc, cuivre ou fer), forme une couche de substance étrangère à sa surface ; les expériences ne sont plus comparables à celles qui sont faites dans l'air.

Digitized by Google

en cuivre, ont été disposés dans un appareil spécial pouvant être placé sous une cloche maintenant autour d'eux une atmosphère artificielle. L'écartement des plateaux, nécessaire pour la mesure, était produit par le jeu d'un électro-aimant.

Les résultats obtenus ont été les suivants : *Toutes les fois qu'on raréfie le gaz, la différence de potentiel apparente augmente, pour reprendre la même valeur quand la pression redevient la même.* Ces variations, quoique très nettes, sont extrêmement faibles et ne dépassent jamais $\frac{1}{25}$ de la valeur totale (en valeur absolue n'atteignent pas $0^{v},02$). Comme, dans mes expériences, l'erreur maximum possible ne dépasse pas $0^{v},002$ et dans quelques expériences plus soignées s'est abaissée à $0^{v},0005$, il ne peut y avoir aucun doute sur ces variations. Celles-ci se sont montrées un peu plus grandes avec l'oxygène qu'avec l'air ou l'azote ; l'acide carbonique donne au contraire des variations d'amplitude un peu plus faible, et l'hydrogène moins encore.

J'ai profité de ce que les variations avec l'oxygène sont un peu plus grandes qu'avec les autres gaz pour tracer la courbe qui les représente en fonction de la pression. Trois séries d'expériences ont été faites dans ce but (1) et ont donné des résultats concordants. Voici la courbe fournie par la deuxième série et obtenue à l'aide de huit déterminations : la différence de potentiel apparente moyenne entre le cuivre et le zinc étant dans cette expérience de $0^{volt},76$, la variation extrême n'a atteint que $0^{volt},0285$.

La substitution d'un gaz (2) à un autre ne change pas sensiblement la valeur de la différence de potentiel apparente quand ces gaz sont sous faibles pressions (20^{mm} à 30^{mm} de mercure).

Comme les variations provenant des changements dans la force élastique des gaz n'ont pas la même amplitude pour tous, sous la

(1) Dans la première et la troisième série, on partait de la pression atmosphérique et on raréfiait de plus en plus le gaz; dans la deuxième, on est parti de la pression la plus faible pour arriver à la pression atmosphérique. Dans les deux dernières, la précision des mesures atteignait $0^{v},0005$.

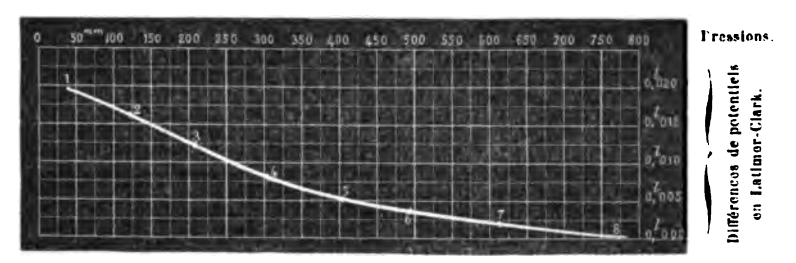
(2) Tous ces gaz avaient été préparés à l'état de pureté et surtout parfaitement débarrassés des acides qui auraient pu attaquer les surfaces métalliques. Si un accident de ce genre s'était produit, les nombres auraient été modifiés d'une façon permanente et non temporaire. L'air sec et l'air humide ont donné les mêmes résultats. Les autres gaz ont été employés secs.


Digitized by Google

pression atmosphérique l'oxygène donne des nombres un peu plus faibles que l'air ou l'azote et ceux-ci que l'acide carbonique; quant à l'hydrogène, déjà sous la pression atmosphérique il donne sensiblement le même nombre que l'air raréfié (20^{mm} à 30^{mm} de mercure), et, par conséquent, l'hydrogène raréfié donne des nombres un peu plus forts que les autres gaz dans le même état. Mais il est bien probable que, si le vide était poussé plus loin, tous les gaz, l'hydrogène compris, se comporteraient de même.

Un fait important a été mis en évidence par toutes ces expériences : la variation de la valeur de la différence de potentiel apparente est toujours *en retard* sur la variation de pression ou sur le changement de nature du gaz. Si l'on fait une observation im-

Fig. 1.



médiatement après le changement de pression et qu'on la fasse suivre de plusieurs autres de minute en minute, on voit que les nombres continuent à varier dans le même sens pendant quelques instants, et la variation finale peut être le double de la variation initiale. Cela montre que la différence de potentiel apparente n'est pas une fonction directe de la pression ou de la nature du gaz isolant, mais bien des changements qui en résultent dans l'état des surfaces métalliques (condensation des gaz); c'est donc par suite d'une action secondaire que les nombres sont modifiés.

III.

J'ai voulu vérifier si deux métaux réunis par un liquide ont leur couche électrique au même potentiel [1]. Cela revient à voir si la

---

[1] C'est ce qu'admettait Volta, sans en donner de preuves du reste. Une élégante

Digitized by Google

force électromotrice d'un élément de pile formé par deux métaux A et B et un liquide L (A et B étant les métaux qui constituent la surface des lames baignées par le liquide) est la même que la différence de potentiel apparente des deux métaux A et B dans l'air.

Mes mesures me donnaient cette dernière quantité; il restait donc à déterminer la force électromotrice d'un élément de pile. Mais il est *indispensable* de mettre en contact avec le liquide les faces mêmes des métaux dont on a mesuré la différence de potentiel apparente, puisque cette quantité varie dans des proportions si notables suivant l'état physique des surfaces. Pour cela, j'interposais une goutte de liquide entre les deux plateaux [1] qui venaient de servir à la mesure de cette dernière quantité, et je prenais la force électromotrice de la pile ainsi constituée. La mesure s'effectuait par la méthode indiquée précédemment (*loc. cit.*, t. IX, p. 145), qui ne risque pas de polariser l'élément et qui permet d'effectuer des mesures de quart de minute en quart de minute avec une précision supérieure à $0^{l},001$.

Ces expériences présentent une difficulté : la force électromotrice de la pile ne reste pas constante et varie avec le temps, parfois avec une rapidité extrême. Il est clair que ces variations sont dues à l'altération des surfaces métalliques en contact avec le liquide,

---

démonstration de sir W. Thomson (Jenkin, *Electr. and magn.*, Chap. II, § 22) a prouvé qu'il en était ainsi dans le cas du zinc, du cuivre et de l'eau, mais avec peu de précision. Une expérience beaucoup plus précise de M. Clifton (*Proceed. of the roy. Soc.*, t. XXVI, p. 299) a conduit au même résultat. Dans cette expérience, deux plateaux, l'un de zinc, l'autre de cuivre, communiquent respectivement avec des lames de zinc et de cuivre trempant dans un liquide. Ces plateaux forment un condensateur à lame d'air. On constate qu'il n'est pas chargé, ce qui montre que les couches électriques qui recouvrent le cuivre et le zinc dans l'air sont au même potentiel. Si au contraire on réunit métalliquement les deux plateaux, le condensateur est fortement chargé. Je reprocherai à l'expérience de M. Clifton le défaut d'identité entre les surfaces métalliques plongeant dans le liquide et celles qui constituent les faces en regard du condensateur à lame d'air; même si, par impossible, l'identité était réalisée au moment de l'immersion, elle cesserait de l'être peu de temps après, comme le prouve ce qui suit. L'expérience faite ainsi doit présenter des irrégularités si la méthode de mesure est sensible.

[1] Cette goutte de liquide s'aplatissait entre les deux plateaux, distants de $0^{mm},1$ à $0^{mm},2$, et formait une large lame de liquide très mince. Des liquides très résistants, comme l'alcool absolu, donnent dans ces conditions des piles dont la force électromotrice se mesure (à l'aide d'un électromètre) aussi facilement que celle des piles ordinaires.



ou peut-être à l'altération du liquide lui-même. Il faut dès lors comparer la différence de potentiel apparente des métaux dans l'air à la force électromotrice de la pile au moment même où l'on vient de la former, avant que les surfaces métalliques se soient altérées d'une façon sensible; mais, comme il s'écoule toujours au moins dix à quinze secondes entre la formation de la pile et la mesure, et que dans ce temps très court la variation est déjà notable, il convient de faire des observations de quinze en quinze secondes pour tracer la courbe des variations de force électromotrice avec le temps; en la prolongeant jusqu'au temps zéro, par *extrapolation* on a, avec une erreur qui dans certains cas est très faible, la valeur de la force électromotrice de la pile avant toute altération des métaux. J'ai employé comme liquide l'alcool absolu [1], car avec ce liquide les variations de force électromotrice sont moins rapides qu'avec les liquides aqueux. Les métaux étudiés ont été l'or, l'argent, le plomb, le zinc, le laiton, le cuivre.

La loi suivante est ressortie nettement de ces expériences :

La différence de potentiel apparente des métaux a la même valeur que la force électromotrice d'un élément de pile formé par l'alcool et ces métaux eux-mêmes (non encore altérés).

Le zinc a été employé avec sa surface fortement ou faiblement écrouie : dans le premier cas, la différence de potentiel apparente avec l'or est voisine de $0^{v},70$; dans le second, de $0^{v},60$. Dans chacun des cas, la loi ci-dessus s'est vérifiée.

Cette loi permet de déterminer la différence de potentiel apparent de métaux rares qu'on ne peut se procurer qu'en lames ou en fils, et non en plateaux.

Il est probable qu'elle subsiste pour des liquides autres que l'alcool; mais l'eau et surtout les dissolutions acides et salines altèrent tellement vite les surfaces de la plupart des métaux, que, quelle que soit la rapidité des mesures, il y a une grande incertitude sur la valeur de la force électromotrice de la pile au moment où elle vient d'être formée. Quelques expériences faites avec l'eau distillée, le laiton et le zinc ont pourtant nettement confirmé la loi.

---

(1) *Voir* la note précédente.

Digitized by Google

IV.

La différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact (différence de potentiel apparente) peut évidemment s'exprimer par la somme des trois termes

$$\text{(1)} \qquad I|M + M|M' + M'|I,$$

dans laquelle $M|M'$ représente la différence de potentiel *vraie* des deux métaux en contact, et $I|M$ et $I|M' (= -M'|I)$ celles qui existent entre chacun des métaux et la couche électrique qui le recouvre.

La force électromotrice d'un élément de pile peut aussi se représenter par une somme de trois termes

$$\text{(2)} \qquad L|M + M|M' + M'|L,$$

M et M′ représentant les métaux qui forment la surface des lames baignées par le liquide L, et $L|M$ et $L|M'$ étant les différences de potentiel entre le liquide et les métaux.

Or l'expérience prouve que, pourvu que M et M′ soient les mêmes dans les deux expressions (1) et (2), celles-ci ont la même valeur, quels que soient du reste I ou L; leur valeur change au contraire du tout au tout avec M ou M′. N'est-il pas bien probable, dès lors, que la valeur constante de toutes ces expressions représente précisément celle du seul terme $M|M'$ qui leur soit commun, différence de potentiel *vraie* des deux métaux en contact? Ce n'est certainement pas là une démonstration rigoureuse; mais je crois pourtant qu'on doit regarder cette dernière quantité comme donnée, avec une grande probabilité, soit par les différences de potentiel apparentes fournies par les mesures électroscopiques, soit par la mesure de la force électromotrice d'un élément de pile à un liquide avant toute altération des métaux.

Digitized by Google

Sur la radiophonie. Note de M. E. Mercadier.

J'appelle *radiophonie* le phénomène découvert récemment par M. G. Bell, et dans lequel une radiation (telle que celle qui constitue un rayon solaire), rendue intermittente suivant une période déterminée, produit, en tombant sur des corps taillés en lames, un son de même période.

En vue d'une application possible de ce phénomène à la télégraphie optique, j'ai dû l'étudier de près, et j'ai obtenu des résultats dont voici les principaux.

I. *La radiophonie ne paraît pas être un effet produit par la masse de la lame réceptrice vibrant transversalement dans son ensemble, comme une plaque vibrante ordinaire.* — En effet, une lame quelconque (dans les conditions où se produit le phénomène) : 1° reproduit *également bien* tous les sons successifs, depuis les plus graves possibles jusqu'à des sons aigus qui, dans mes expériences, sont allés jusqu'à 600 à 700 vibrations doubles par seconde, et cela *sans solution de continuité;* 2° reproduit *également bien* des *accords* dans tous les tons possibles, variant si l'on veut *d'une manière continue*, en faisant varier d'une manière continue la vitesse de l'appareil qui produit les intermittences. Cet appareil est, à cet effet, composé d'une roue en verre à la surface de laquelle est collé un disque de papier portant quatre séries d'ouvertures au nombre de 80, 60, 50, 40 : cela permet, en faisant passer le rayon lumineux dans les trous d'une série et soulevant le support de la roue elle-même, de produire les sons *successifs* d'un accord parfait, et, en laissant le support de la roue immobile et concentrant à l'aide d'une lentille cylindrique la lumière sur les quatre séries d'ouvertures à la fois, de produire des *accords* parfaits plaqués.

Or aucune plaque rigide vibrante connue n'est susceptible de produire de tels effets.

3° Les sons produits ne changent d'ailleurs ni de timbre ni de hauteur avec l'épaisseur et la largeur des lames des récepteurs. Ils ne changent même pas d'intensité d'une manière sensible avec la

Digitized by Google

largeur, à surface égale éclairée, et même avec l'épaisseur, dans les lames transparentes, comme le verre et le mica, entre des limites éloignées qui, pour le verre en particulier, s'étendent de $0^{mm},5$ à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$ d'épaisseur. Cela m'a permis d'employer des lames réceptrices de 1^{cq}, en particulier des lames de tourmaline de cette dimension ([1]).

4° Une plaque fêlée, fendue, de verre, de cuivre, d'aluminium, etc., produit très sensiblement les mêmes effets que lorsqu'elle est intacte.

II. *La nature des molécules du récepteur et leur mode d'agrégation ne paraissent pas exercer sur la nature des sons produits un rôle prédominant.* — En effet : 1° à épaisseur et à surface égales, les récepteurs, de quelque nature qu'ils soient, produisent des sons de même hauteur.

2° Quand l'épaisseur des lames réceptrices diminue de plus en plus, les différences spécifiques qui existent entre leurs modes de production du phénomène s'atténuent de plus en plus quand on rend identique leur surface exposée aux radiations, par exemple en les recouvrant toutes d'une pellicule de noir de fumée.

3° L'effet produit par des radiations ordinaires est, toutes choses égales d'ailleurs, à très peu près le même pour des substances transparentes aussi différentes que le verre, le mica, le spath d'Islande, le gypse, le quartz parallèle ou perpendiculaire à l'axe.

Il en est de même quand on emploie des radiations polarisées, à l'aide d'un nicol par exemple.

III. *Les sons radiophoniques résultent bien de l'action directe des radiations sur les récepteurs.* — Car : 1° on diminue graduellement l'intensité du phénomène en diminuant la quantité des radiations reçues, à l'aide de diaphragmes d'ouverture variable.

2° En polarisant les radiations et en prenant pour lame réceptrice un analyseur mince, tel qu'une lame de tourmaline, les

---

([1]) L'intensité des sons est d'ailleurs, pour les lames opaques, d'autant plus grande qu'elles sont plus minces; le clinquant de cuivre, d'aluminium, de platine et surtou de zinc, de $\frac{1}{10}$ de millimètre par exemple, donne d'excellents résultats.

Digitized by Google

sons produits présentent les variations d'intensité correspondant à celles de la radiation elle-même, quand on fait tourner le polariseur ou l'analyseur.

IV. *Le phénomène semble résulter principalement d'une action sur la surface du récepteur.* — Car son intensité dépend beaucoup de la nature de la surface. Toute opération qui diminue le pouvoir réflecteur et augmente le pouvoir absorbant de la surface influe sur le phénomène ; les surfaces dépolies, ternes, oxydées, sont les plus convenables.

L'intensité du phénomène est considérablement augmentée quand on recouvre la surface de certaines substances noires en poussière ou non, telles que le bitume de Judée, le noir de platine et surtout le noir de fumée ; mais cet effet ne se fait particulièrement sentir que lorsque les lames recouvertes sont très minces : ainsi, sous une épaisseur d'environ $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ de millimètre, on obtient de remarquables effets.

J'ai construit, en conséquence, des récepteurs radiophoniques très sensibles à l'aide de plaques de zinc, de verre, de mica, très minces et enfumées.

L'emploi de ces récepteurs sensibles m'a permis d'arriver au résultat suivant :

V. *Les effets radiophoniques sont relativement très intenses.* — Je puis en effet, actuellement, les obtenir non seulement avec les radiations du Soleil et d'une lampe électrique, mais avec la lumière oxyhydrique, la flamme d'un bec de gaz ordinaire, et, par suite, avec les radiations des sources intermédiaires, telles que lampes à pétrole, spirale de platine rougie par un bec Bunsen, etc.

VI. *Les effets radiophoniques paraissent être produits principalement par les radiations de grande longueur d'onde, dites calorifiques.* — Pour le démontrer, sans m'arrêter pour le moment à l'emploi de cuves remplies de liquides absorbants, tels que l'alun, l'iode dissous dans le sulfure de carbone, etc., dont l'effet ne saurait être bien net, j'ai essayé d'explorer avec un récepteur sensible le spectre étalé des radiations agissantes. J'y suis parvenu

Digitized by Google

avec la lumière électrique de 50 bunsens et en employant des lentilles et un prisme en verre ordinaires : j'ai reconnu que le maximum d'effet est produit par les radiations rouges et infra-rouges invisibles; à partir du jaune jusqu'au violet et au delà, je n'ai pas obtenu d'effet sensible dans les conditions où j'ai opéré. L'expérience a été réalisée, à plusieurs reprises, avec des récepteurs en verre enfumé, en platine platiné et en zinc à surface nue.

Je suis parvenu d'ailleurs, par une méthode simple, à démontrer que les effets radiophoniques peuvent être produits par des sources dont l'éclat *lumineux* intrinsèque est beaucoup plus faible que celui d'une lampe à gaz ordinaire, et même par des radiations *invisibles* uniquement *calorifiques*.

A cet effet, j'ai reconnu d'abord qu'on pouvait entendre les sons radiophoniques provenant des lampes oxyhydriques et des lampes à gaz sans avoir besoin de lentilles de concentration; il suffit de les approcher le plus près possible de la roue interruptrice en verre, en limitant le faisceau émis à l'aide d'un diaphragme d'ouverture convenable placé très près de la roue.

J'ai pris alors un disque de cuivre de $0^m,002$ d'épaisseur et d'environ $0^m,040$ de diamètre, fixé à quelques centimètres de distance du diaphragme, et je l'ai chauffé sur la face opposée à la roue à l'aide d'un chalumeau oxyhydrique, en ménageant graduellement l'accès de l'oxygène. On obtient ainsi une source de radiations d'abord invisibles, mais dont la température peut être peu à peu portée au rouge sombre et au rouge clair. Or, dans ce dernier état, en entend très nettement les sons produits par cette source si peu lumineuse, et, si l'on éteint le chalumeau, on entend des sons d'intensité décroissante, il est vrai, mais on les entend encore quand le disque est invisible dans l'obscurité. Ce dernier effet peut être produit d'une manière continue, en modérant assez la flamme du chalumeau pour que le disque conserve une température un peu inférieure à celle du rouge naissant. On peut faire sans difficulté cette observation avec des récepteurs en verre ou en mica, minces et enfumés, et l'on a ainsi un véritable *thermophone*.

Digitized by Google

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Besombes, employé aux Lignes télégraphiques, à Marseille;
Chaperon, à Libourne;
Sandoz (Albert), préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris;
Street, ingénieur, à Paris.

M. le Président annonce que M. d'Almeida a légué à la Société deux manuscrits d'Ampère sur l'Électrodynamique.

M. Terquem présente à la Société une lampe de Bunsen perfectionnée.

M. Laurent fait remarquer que la lampe qu'il emploie comme source monochromatique dans son polarimètre a, dans sa partie utile, une intensité au moins égale à celle de M. Terquem, qui l'a reconnu lui-même, dans une expérience faite dans les ateliers de M. Laurent.

M. Terquem fait observer que, dans l'expérience dont vient de parler M. Laurent, la comparaison a porté sur une petite lampe, d'une construction moins bonne que celle qu'il vient de décrire.

MM. Lechatelier et Laurent pensent que l'effet du cloisonnement est le même que celui qu'on obtiendrait en diminuant le diamètre du brûleur : on diminue la vitesse de propagation de la combustion.

M. Blondlot décrit une nouvelle propriété électrique du sélénium.

M. Cornu demande si des expériences ont été faites sous un liquide isolant pour l'électricité et conducteur pour la chaleur, tel que l'huile; l'emploi d'un sel liquide éliminerait une grande partie de l'effet de la chaleur. Il demande également si M. Blondlot a étudié la loi suivant laquelle a lieu le retour de l'électromètre au zéro.

Digitized by Google

M. Blondlot répond qu'il s'est borné à signaler un fait qui paraît nouveau, mais sans avoir fait assez d'expériences pour pouvoir en proposer une théorie.

M. Mascart dit que les physiciens regardent l'électricité dite de frottement comme due au contact. Il serait donc intéressant d'étudier le phénomène de M. Blondlot, afin de voir s'il se ramène à cette explication.

M. Mercadier décrit ses expériences récentes de radiophonie. Il a pris comme source de radiation un disque de cuivre chauffé au-dessous du rouge sombre et invisible dans l'obscurité, et il a obtenu des sons. Les effets radiophoniques seraient donc dus, non à la lumière, mais à la chaleur.

Sur la constitution de la flamme de la lampe Bunsen et quelques modifications apportées à la construction de cette lampe;

par M. A. Terquem.

La flamme que l'on obtient avec la lampe Bunsen est, comme l'on sait, creuse dans une grande partie de sa longueur, ce dont on peut s'assurer à l'aide d'une toile métallique placée dans la flamme, qui présente un anneau incandescent, avec une tache obscure au centre. De là des difficultés particulières pour obtenir avec ce brûleur des températures très élevées, car la flamme, à cause du cône creux qui en occupe le centre, présente une grande surface de contact avec l'air; de plus, un creuset, par exemple, placé dans cette flamme, ne peut être chauffé dans toute sa hauteur à une même température. En augmentant la quantité d'air qu'entraîne avec lui le gaz, on diminue évidemment la vitesse moyenne de sortie du mélange gazeux à l'orifice supérieur du tube. Le cône creux central diminue de hauteur, la flamme devient pleine dans une plus grande partie de son étendue, mais en même temps elle devient très vacillante, et, après quelques oscillations, la combustion se communique au bec inférieur. Ces effets sont d'autant plus marqués que le tube de la lampe est plus large; c'est ce qui a probablement empêché jusqu'à présent les constructeurs de faire des

Digitized by Google

lampes Bunsen de très grands diamètres, qui, avec une flamme pleine, auraient pu servir à produire facilement de hautes températures.

Par diverses dispositions, je suis arrivé : 1° à rendre la flamme de tous les brûleurs à gaz moins vacillante; 2° à mélanger au gaz la quantité maxima d'air que le jet de gaz peut entraîner spontanément, sans que la combustion se communique au bec inférieur; 3° à obtenir cet effet avec des tubes de tout diamètre jusqu'à 0^{m}, 040, et quelle que soit la pression du gaz. Évidemment, le mélange gazeux qui sort par l'orifice supérieur du tube n'est pas homogène, ni au point de vue de sa composition, ni de sa vitesse. Celle-ci doit être plus grande au centre que le long des parois du tube, à cause de l'excès de vitesse que conserve le jet de gaz sortant du bec; en outre, les filets centraux doivent être plus riches en gaz carbonés. Tant que l'air est aspiré en faible quantité, la vitesse minima d'écoulement reste supérieure à la vitesse de communication de la combustion; mais, si l'air est introduit en plus grande quantité, cette vitesse minima, vers les bords de l'orifice, peut tomber audessous de la vitesse inverse de communication de la combustion, quoique la vitesse moyenne de sortie soit supérieure à cette dernière; de là, quand cet équilibre est presque atteint, ces agitations de la flamme, à cause des petites irrégularités qui se produisent dans l'écoulement du gaz, et enfin l'inflammation du bec inférieur par l'action d'une secousse ou d'un simple courant d'air. Cette inégalité de vitesse d'écoulement des filets gazeux explique pourquoi, avec des tubes étroits, l'inflammation du bec inférieur a lieu moins facilement que dans les tubes larges, à cause de la plus grande uniformité d'écoulement du gaz, et pourquoi, avec les premiers tubes, on obtient déjà des flammes presque pleines, quoique assez vacillantes; l'allongement du tube, en permettant un mélange plus intime de l'air et du gaz d'éclairage, produit en partie le même effet.

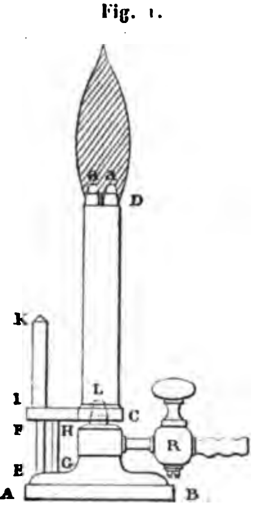
Pour obvier à ces inconvénients, il faut chercher surtout à égaliser les vitesses de sortie des divers filets du mélange gazeux, ainsi que la composition de ce dernier, en rejetant vers les bords de l'orifice le gaz qui sort par le centre, sans rétrécir toutefois par trop cet orifice. J'y suis arrivé par les dispositions suivantes : 1° en partageant l'orifice de sortie du gaz en plusieurs secteurs, par 2,

Digitized by Google

4, ... cloisons verticales fixées sur les parois et descendant très peu dans le tube; évidemment, le jet central est arrêté par le croisillon qui occupe le centre du tube et se trouve rejeté de côté; dans les tubes de $0^m,015$ à $0^m,025$, deux cloisons à angle droit suffisent; pour les tubes plus larges, de $0^m,025$ à $0^m,040$, j'ai mis quatre cloisons, divisant l'orifice en huit secteurs; 2° en plaçant au centre du tube une petite plaque ou une boule qui donne naissance à un orifice annulaire. L'efficacité d'une boule ayant environ un diamètre égal à la moitié de celui de l'orifice est telle, que l'on peut soulever un tube ainsi disposé à plus de $0^m,1$ au-dessus d'un bec sans que l'inflammation se communique à ce dernier; mais, pratiquement, les lames verticales sont suffisantes, plus faciles à poser, et produisent une moins grande diminution de l'orifice. La lampe que j'ai fait faire par M. Stütz, constructeur d'instruments de Physique à Lille, a la disposition suivante :

Le pied de fonte AB (*fig.* 1) porte, comme d'habitude, le tube

Fig. 1.



d'arrivée du gaz, le robinet R et le bec de sortie. L'air est aspiré par l'espace réservé entre le pied et le tube CD. Ce tube peut être élevé ou abaissé en glissant le long des deux tiges EF et GH, dont la première, étant fendue, forme ressort contre les parois du tube IK; ce mouvement peut être produit, pour obtenir plus facilement le réglage, à l'aide d'un levier perpendiculaire au plan de la figure.

Digitized by Google

L'orifice supérieur du tube CD est divisé, comme il a été dit, en quatre secteurs par deux lames en forme de trapèzes, fixées aux parois du tube ([1]). En soulevant peu à peu le tube CD, on finit par obtenir, à la base de la flamme, quatre petits cônes, d'une couleur vert clair, dépassant à peine les cloisons verticales, surmontés d'une flamme pleine de couleur pourpre, avec une bordure bleue. Les surfaces des quatre cônes présentent, comme on devait s'y attendre, au spectroscope, le spectre très brillant de la vapeur de carbone, que donnent tous les gaz carbonés brûlant avec un excès d'air, tandis que le reste de la flamme donne un spectre continu très faible.

Le mode d'introduction de l'air dans cette lampe évite l'emploi d'un second tube extérieur, qui souvent se soude au premier, et, en outre, la chaleur communiquée au pied et au robinet est bien moindre que dans les lampes Bunsen.

Pour observer les modifications que subit la flamme quand on fait varier la quantité d'air mélangée au gaz, il est bon d'entourer la flamme d'un tube de verre, qui rend la flamme plus tranquille. En abaissant le tube CD, on voit les quatre cônes verts s'allonger, ainsi que la flamme pourpre qui les surmonte ; les quatre cônes creux finissent par se rejoindre en un seul cône occupant le centre de la flamme (*fig.* 2) ; la teinte verte et l'éclat de la surface BBB diminuent de plus en plus à mesure que la quantité d'air mélangée au gaz est moins grande ; la couche de couleur pourpre C devient moins large, et enfin, juste au moment où la combustion a encore lieu sans précipitation de carbone solide, le cône creux intérieur A, de couleur bleue, comme dans les brûleurs Bunsen, occupe presque toute la longueur de la flamme et se confond, presque jusqu'au

---

([1]) Lors de la Communication que j'ai faite sur ce sujet dans la séance du 17 décembre de la Société de Physique, je ne m'étais pas encore bien rendu compte de l'effet produit par les petites lames verticales pour empêcher la rétrogradation de la combustion ; je l'avais attribuée, faute de mieux, au changement d'angle des cônes de combustion. A la suite des objections qui me furent faites par M. Lechatelier dans cette séance, je me suis occupé de nouveau de cette question, et je crois être arrivé à une solution satisfaisante, comme l'ont confirmé les expériences que j'ai faites depuis en remplaçant les lames par une boule placée au centre de l'orifice de sortie ; dans ce dernier cas, en effet, la surface de combustion présente presque la forme d'une couche sphérique ouverte au-dessus de la boule, ce qui montre que l'angle cône n'a aucune influence dans cette action des lames.

Digitized by Google

sommet, avec la couche bleue extérieure DDD. A partir de ce moment, si l'on diminue davantage la rentrée de l'air en baissant le tube CD, le carbone solide et lumineux apparaît au sommet du cône creux, et enfin, quand l'entrée de l'air est complètement arrêtée, la flamme devient, comme l'on sait, lumineuse; mais au dehors, sur tout son contour, elle présente encore une auréole bleuâtre, se confondant avec la base bleue de la flamme, où l'on aperçoit tou-

Fig. 2.



jours faiblement les raies caractéristiques de la vapeur de carbone.

Je n'ai effectué l'analyse du gaz de la flamme pourpre que dans le cas où existent les quatre cônes verts à sa base, c'est-à-dire quand la combustion a lieu avec le maximum d'air que le gaz puisse entraîner. Le gaz était aspiré au centre de la flamme à l'aide du bec d'un chalumeau fixé à l'extrémité d'un tube très étroit de caoutchouc, et amené dans un aspirateur primitivement rempli d'eau. Le gaz aspiré dans ces conditions s'est trouvé formé de :

Acide carbonique........................	5
Oxyde de carbone	9,5
Oxygène	0,5
Azote (par différence)....................	85

Le gaz aspiré et refroidi n'était plus ni comburant ni combustible; une grande quantité de vapeur d'eau s'est en outre condensée dans le flacon. La flamme est réductrice dans toute la partie pourpre et oxydante seulement sur les bords, comme on peut s'en assurer avec une petite lame de cuivre. La combustion s'effectue donc, comme on le sait du reste, complètement dans la couche verte des

Digitized by Google

quatre cônes; la flamme pourpre, d'après cette analyse, serait formée en grande partie de vapeur d'eau, d'azote et d'oxyde de carbone. La production de l'oxyde de carbone dans la flamme de ce brûleur est accusée du reste, quelle que soit la quantité d'air mélangée au gaz, par l'auréole bleue qui entoure constamment la flamme.

Quand la flamme est constituée avec la quantité d'air maxima que donne le tirage de la lampe, c'est-à-dire avec les quatre cônes à la base, on constate que la température est très uniforme dans toute la partie pourpre et atteint au moins celle de la fusion du cuivre rouge, puisqu'un fil fin de ce métal fond dans toutes les parties de la flamme. Avec un petit élément thermo-électrique fer-platine enfermé dans un tube de verre effilé et contenant un peu de borax, on constate également, à l'aide de la déviation d'un galvanomètre, la constance de la température dans toute la flamme, que M. Rossetti estime être de 1300°, seulement vers la pointe de la flamme du bunsen. Un creuset de platine chauffé avec cette lampe, grâce à ce que la flamme est pleine, rougit dans toute son étendue, et la température intérieure dépasse 1000°, puisque certains sels très réfractaires, tels que le borax, le pyrophosphate de soude, le silicate de soude, y fondent parfaitement [1].

En plaçant au-dessus des quatre lames un petit disque de cuivre, celui-ci étale la flamme horizontalement, se trouve porté au rouge, et rayonne de la chaleur vers les vases que l'on veut chauffer, et qui ne doivent pas être atteints par la flamme.

Le même brûleur peut être facilement transformé en lampe monochromatique pour l'emploi des saccharimètres. L'intensité de la lumière émise dépasse quatre fois celle des autres lampes employées au même usage, quoique la flamme soit plus petite. Ce qui prouve que la flamme est saturée de vapeurs de sodium, c'est que, avec deux perles de chlorure de sodium placées l'une derrière l'autre, l'intensité de la lumière, mesurée au photomètre, ne change pas.

Pour les emplois qui pourraient être faits de cette lampe dans la

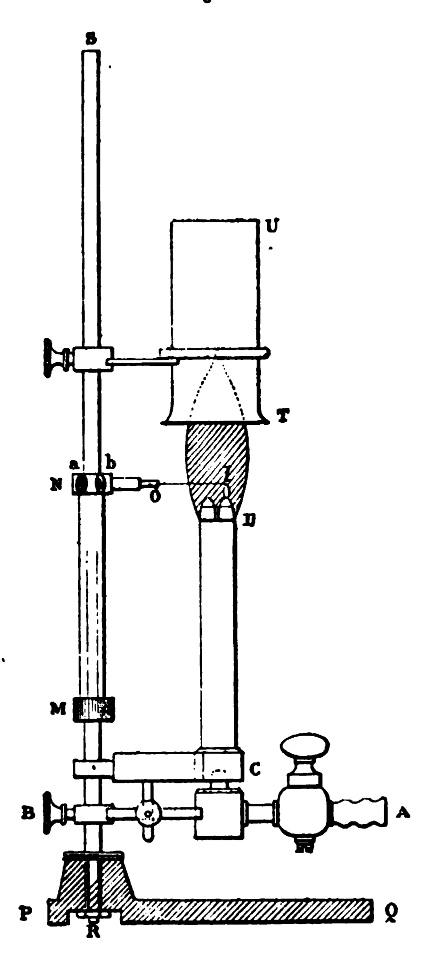
[1] Avec une petite boule placée au centre de l'orifice, les phénomènes sont exactement les mêmes; seulement, au lieu des quatre cônes verts, on a, à la base de la flamme, une autre surface de combustion.

Digitized by Google

saccharimétrie, je lui ai donné la forme suivante. Elle se compose (*fig.* 3) de :

1° Un pied PQ, portant une tige RS le long de laquelle glissent


Fig. 3.



les diverses pièces de l'appareil et sur laquelle on peut les fixer à diverses hauteurs, à l'aide de vis de pression ;

2° La pièce AB, qui porte la tubulure A par laquelle arrive le gaz, le robinet et le bec par lequel il s'échappe ;

3° Le tube CD, muni à la partie supérieure des deux petites

Digitized by Google

lames en croix, pouvant être fixé à une hauteur variable et se déplaçant avec la pièce AB, à laquelle il est fixé par une vis de pression ;

4° Un tube MN, portant en haut une étoile de cinq fils de fer repliés en Y et terminés chacun par deux boucles contenant les perles de chlorure de sodium, ce qui donne une provision de dix perles de chlorure, c'est-à-dire de quoi faire des observations pendant plus d'une demi-heure avec une lumière sensiblement constante, en remplaçant successivement chaque perle par une autre quand la lumière commence à baisser; pour observer avec un saccharimètre, une seule perle dans la flamme suffit, puisque celle-ci est complètement opaque pour les radiations émises par le chlorure volatilisé et dissocié de la seconde perle ; mais, pour éclairer un certain espace, il est préférable d'employer deux perles, en rapprochant les deux branches du fil de fer;

5° Une cheminée, pour activer le tirage et rendre la flamme moins oscillante.

Si l'on remplace le gaz d'éclairage par de l'hydrogène, même en employant une lampe beaucoup plus petite, avec une dépense de 50^{lit} d'hydrogène à l'heure, on obtient une intensité qui est plus de dix à vingt fois plus grande que celle des autres lampes monochromatiques, suivant la grandeur de la flamme.

Sur une nouvelle propriété électrique du sélénium et sur l'existence des courants tribo-électriques proprement dits; par M. R. Blondlot.

J'ai observé une propriété électrique nouvelle du sélénium, laquelle est mise en évidence par l'expérience suivante. A l'un des pôles d'un électromètre capillaire on attache, au moyen d'un fil de platine, un fragment de sélénium recuit, à l'autre pôle une lame de platine. Si l'on amène, en le tenant par un manche isolant, le sélénium au contact avec le platine, l'électromètre reste au zéro, comme on pouvait s'y attendre à cause de la symétrie du circuit; mais vient-on à frotter le sélénium contre la surface du métal.

Digitized by Google

aussitôt l'électromètre est fortement dévié : on atteint facilement une déviation égale à celle que produirait un élément à sulfate de cuivre.

J'ai constaté que ni le frottement de deux métaux l'un contre l'autre, ni celui d'un corps isolant contre un métal, ni, bien entendu, celui de deux corps isolants, ne peut produire de charge de l'électromètre capillaire.

Le courant produit par le frottement du sélénium est dirigé, à travers l'électromètre, du sélénium non frotté au sélénium frotté. On peut s'assurer que le courant thermo-électrique obtenu en chauffant le contact sélénium-platine va du sélénium chaud au sélénium froid dans le circuit extérieur ; par conséquent, *le dégagement d'électricité que j'ai observé ne peut être attribué à la chaleur qui accompagne le frottement.*

Ce dernier point est important au point de vue théorique.

Les courants que M. Becquerel a obtenus en frottant l'une contre l'autre deux plaques de métal reliées aux pôles d'un galvanomètre sont toujours, comme M. Becquerel l'a constaté lui-même, de même sens que ceux qu'on produirait en chauffant la surface de frottement ([1]). M. Gaugain ([2]) a cru pouvoir affirmer que ces courants étaient dus à l'échauffement produit par la friction, indépendamment de tout effet direct de celle-ci. M. G. Wiedemann partage la même opinion ([3]). Or l'expérience que j'ai faite montre que, dans le cas du sélénium, l'effet direct du frottement existe certainement; il est extrêmement probable qu'il en est de même dans le cas de deux métaux, comme l'avait présumé M. Becquerel.

L'électromètre de M. Lippmann joue, dans l'expérience qui fait le sujet de cette Note, le rôle d'un galvanomètre d'une sensibilité très grande et indépendante de la résistance du circuit. Il n'y a pas ici équilibre entre la force électromotrice du ménisque de l'électromètre et celle de la source, à cause du peu d'électricité produite par cette dernière; la petite quantité d'électricité à haute tension produite par le frottement se communique au ménisque

---

([1]) Becquerel, *Annales de Chimie et de Phys.*, 2e série, t. XXXVIII, p. 113; 1828.
([2]) Gaugain, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. V, p. 31; 1865.
([3]) *Galvanismus und Electromagnetismus*, t. I, § 168.

Digitized by Google

et, vu la grande capacité de celui-ci, n'en élève que fort peu la différence électrique.

Ce dernier fait explique une particularité remarquable que j'ai observée : si, après avoir obtenu par le frottement une déviation électrométrique, on cesse de frotter, la déviation persiste ; cela provient de ce que le sélénium, qui avait laissé passer l'électricité à haute tension due au frottement, oppose une résistance que ne peut surmonter la faible polarisation du mercure de l'électromètre.

Le choc et même la pression produisent le même effet que le frottement, quoique d'une manière moins marquée.

ALLOCUTIONS PRONONCÉES SUR LA TOMBE DE M. J.-CH. D'ALMEIDA.

10 novembre 1880.

Discours de M. Mascart.

M. Mascart, Président de la Société française de Physique s'est exprimé en ces termes au nom de la Société :

« Messieurs,

» Celui que la mort vient de frapper d'une manière si inattendue laisse parmi nous un vide irréparable, et je ne saurais exprimer la douleur profonde qu'ont éprouvée tous les membres de la Société française de physique, dans laquelle il ne comptait que des amis.

» En dehors de ses travaux personnels et de ses services universitaires, M. d'Almeida a consacré les dernières années de sa vie à deux grandes œuvres auxquelles son nom restera attaché.

» Avec l'aide de quelques collaborateurs, il créa d'abord le *Journal de Physique,* qui tient aujourd'hui une place importante dans la littérature scientifique, dans le but de propager le goût de cette science, d'en faire connaître le progrès, de vivifier l'enseignement par l'introduction des idées nouvelles et de provoquer les découvertes.

Digitized by Google

» Il trouva bientôt qu'il y avait encore mieux à faire, et il chercha à établir un lien plus intime, une communion d'idées plus féconde entre les hommes qui cultivent la Physique et ceux qui en suivent le développement; c'est à son activité infatigable, à son amour du bien et à son esprit conciliant que notre Société doit son existence. Il se préoccupait surtout d'être utile aux Membres éloignés et aux travailleurs isolés qui n'ont pas les ressources des grands laboratoires et des riches bibliothèques; c'est dans cette pensée qu'il organisa le prêt des instruments de recherche et cette bibliothèque roulante qui répandait la connaissance des publications étrangères.

» L'aménité de son caractère et la justesse de ses vues en avaient fait l'ami et le guide de notre Société. Il en suivait la marche dans les moindres détails; l'ordre du jour de nos séances était pour lui un souci continuel, lors même que les devoirs de ses fonctions le tenaient éloigné de nous.

» Vous avez tous été témoins de son dévouement; il était mû, en réalité, par le sentiment d'un grand devoir patriotique, qu'il avait conservé de ses souvenirs du siège de Paris, qu'il communiquait à ses intimes et qu'il a indiqué avec discrétion dans la préface de son Journal: contribuer pour sa part au développement des forces intellectuelles et morales de la France.

» Comme s'il eût le pressentiment de sa fin subite, il s'était préoccupé de ce que deviendrait son œuvre après lui. La Société de Physique, par ses Statuts et par sa tradition, est animée de l'esprit qu'il avait voulu lui imprimer : elle vivra et grandira. L'avenir était moins certain pour le *Journal de Physique,* qui exige une action plus personnelle. Réunissant un jour quelques-uns de ses collaborateurs habituels, il nous exposa avec une simplicité et une philosophie touchantes qu'il avait gardé pour lui seul toute la responsabilité de l'entreprise tant que le succès pouvait rester douteux, mais que cette publication avait reçu un bon accueil, et il nous demanda d'accepter les clauses d'une disposition testamentaire qu'il avait prise pour en assurer la continuité. Ses vues seront remplies, et nous tâcherons de faire honneur à la mémoire d'un homme de bien qui a noblement servi la Science et sa patrie.

Digitized by Google

Discours de M. de Gasté.

M. de Gasté, Député, Président de l'Association amicale des anciens Élèves du Lycée Henri IV, a pris la parole après M. Mascart :

« Messieurs,

» Au nom des anciens élèves du Lycée Henri VI, que je représente à cette triste cérémonie, je viens apporter mon tribut de regrets et d'éloges à l'homme éminent dont un des maîtres de la Science française vient de vous retracer avec tant d'autorité la carrière scientifique.

» L'Association amicale a perdu en lui un de ses membres les plus dévoués à la camaraderie dont elle est le centre et le lien. D'Almeida fut un de ses fondateurs, un de ses présidents avec des savants illustres comme Élie de Beaumont, de Lesseps, Berthelot. Il apporta à cette œuvre le précieux concours de son génie organisateur. Le lendemain du jour où il fut élu président par le suffrage de ses anciens camarades, de ses anciens élèves, l'Association comptait cent adhérents de plus, tant était grande l'autorité de son nom et la popularité dont il jouissait dans ce Lycée, où il fut trente ans professeur. Jamais président ne déploya plus d'activité que lui, ne mit, au service des camarades trahis par la fortune, plus de dévouement.

» On a parlé de son talent de professeur : j'ajouterai qu'il savait à la fois s'attirer un respect absolu et une profonde affection de la part de ses élèves ; il eut au plus haut degré l'autorité personnelle, celle qui vient du caractère, du cœur et de l'exemple. Il savait vouloir ; il aimait ses élèves comme ses enfants, comme une famille qui eut tout le dévouement de ce grand travailleur, resté seul jusqu'au jour où la mort vint le frapper ; enfin, il donna toujours l'exemple du travail, dans ce petit laboratoire annexé par lui à la classe de Physique de Henri IV, où, dimanches et jeudis, il consacrait à ses travaux personnels le temps que lui avaient laissé ses classes de la semaine.

» On me permettra de rappeler, ici, qu'il fut un républicain convaincu, énergique, un républicain de la veille, un patriote ardent. Ses anciens collègues n'ont pas oublié l'énergie qu'il a

Digitized by Google

déployée après le coup d'État de décembre, et, s'il ne fut pas révoqué, on peut dire qu'il fit tout ce qu'il fallait pour l'être. A l'heure du danger, au jour où sa patrie adoptive était en proie à l'invasion, il mit au service de la défense nationale l'indomptable énergie qui anima jusqu'au bout son corps miné par la maladie et le travail, et aussi les précieuses ressources de son esprit scientifique. Il subit les plus dures fatigues et exposa sa vie pour établir une communication entre la province et Paris assiégé. La croix lui fut donnée, non moins pour ses services pendant la guerre que pour ses travaux scientifiques et universitaires. Il remplissait les fonctions d'inspecteur général de l'Instruction publique avec la conscience et le talent qui ont honoré toute sa carrière, lorsque la mort est venue le frapper: on peut dire qu'il est mort en soldat, sur la brèche. « *Laboremus !* » ce fut sa devise : c'est l'encouragement que son exemple adresse aux jeunes camarades encore sur les bancs du Collège, qu'une bonne pensée de notre Proviseur a donnés comme dernière escorte au professeur éminent de notre cher Lycée Henri IV. D'Almeida fut pour nous un camarade excellent; pour le Lycée, un professeur hors ligne et une de ses gloires; pour la République, un défenseur ardent; pour la patrie, un citoyen dévoué. J'ajoute, et ce n'est pas son moindre éloge, que ce fut vraiment un homme, un caractère!

» C'est dire tous nos regrets et notre deuil dans ce suprême adieu !

Discours de M. Gaston Bonnier.

M. Gaston Bonnier, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, prend ensuite la parole, au nom des élèves de M. d'Almeida.

« Messieurs,

» Je viens, au nom des élèves de M. d'Almeida, dire un dernier adieu à notre cher professeur.

» La rapidité avec laquelle notre maître nous a été enlevé, sans que nous puissions même lui serrer une dernière fois la main, ajoute encore à notre douleur.

» Ceux qui ont suivi les leçons de M. d'Almeida n'oublieront

Digitized by Google

jamais la grande affection qu'il avait pour eux, l'excellente direction qu'il savait donner à leurs études et aussi celle qu'il savait donner à leur esprit.

» Je revois cette salle du Lycée Henri IV quand, pour la première fois, il nous fit une leçon de Physique. Il avait conquis notre sympathie, notre respect profond, notre confiance absolue, et cela dès le premier moment.

» Et, plus tard, comme cette confiance s'était encore accrue, alors que nous avions compris l'excellence de son enseignement et de sa méthode, alors que nous avions senti quel intérêt réel il nous portait !

» La préoccupation principale de M. d'Almeida, lorsqu'il faisait un Cours, n'était pas de préparer les élèves en vue d'un examen : il cherchait, avant tout, à leur faire aimer la science qu'il enseignait, à leur donner le goût du travail. Il s'occupait souvent plus des élèves faibles ou moins bien doués que de ceux qui étaient à la tête de leur classe. Aussi était-il aimé de tous, des derniers comme des premiers.

» A ceux de ses élèves qui se destinaient à devenir professeurs, l'enseignement de M. d'Almeida se présentait comme un modèle qu'ils cherchaient à imiter. Combien de fois, avec mon camarade M. Boutroux, nous sommes-nous rappelé notre cher professeur, lorsque nous préparions ensemble des leçons de Physique ou de Chimie à l'École Normale !

» En troisième année, nous devions, suivant l'usage, faire quelques classes dans un Lycée de Paris. Nous avions tous deux choisi le Lycée Henri IV. Nous revîmes cette même classe où nous avions été élèves. L'un après l'autre, nous remplacions notre maître pour quinze jours. Mais il était là, attentif aux leçons que nous faisions ; à la fin de la classe, il nous signalait les fautes ou nous donnait les plus utiles indications.

» Après nous avoir instruits, il nous apprenait maintenant à enseigner.

» M. d'Almeida ne perdait pas de vue ses élèves à la sortie du Lycée, ceux surtout qui avaient choisi la carrière scientifique. Lorsqu'une difficulté se présentait dans leurs travaux, ils savaient qu'ils trouveraient toujours chez leur ancien maître un accueil affable et bienveillant, en même temps que de précieux conseils.

Digitized by Google

» Aux heures d'espoir ou de découragement, nous ne viendrons plus maintenant, hélas ! frapper à sa porte de la rue Bonaparte, à l'heure du matin où nous étions toujours sûrs de le rencontrer.

» Il nous quitte, laissant chez nous tous d'impérissables souvenirs. Nos cœurs et nos esprits garderont l'impression durable qu'il y a tracée.

» Les regrets qu'il emporte sont profonds et nombreux, comme le prouve la présence de ses collègues, de ses élèves et de tant d'amis venus pour lui dire un suprême adieu. »

Digitized by Google

Digitized by Google

CATALOGUE

DE

LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1880), in-4°.
Annales de Chimie et de Physique (1873 à 1880), in-8°.
Annales de l'École Normale supérieure (2ᵉ série, 1873 à 1880), in-4°.
Annales télégraphiques (3ᵉ série, 1874 à 1880), in-8°.
Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.
Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1880), in-8°.
Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1880), in-8°.
Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1880), in-18.
La lumière électrique, année 1880.
L'Aéronaute (juillet 1877 à décembre 1880), in-8°.
Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.
Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).
Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1879), in-4°.
Proceedings of the Royal Society (t. XXIII, nᵒˢ 156 à 159; t. XXIV à XXIX, nᵒˢ 164 à 206), in-8°.
Philosophical Magazine (1873 à 1880), in-8°.
Annales de Poggendorff (1873 à 1880), in-8°.
Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 3, à 1880), in-8°.
Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1880), in-8°.
The Physical Society of London. Proceedings (mars 1874 à juillet 1880), in-8°.
The scientific Proceedings of the royal Dublin Society (1877 à 1880).
The scientific Transactions of the royal Dublin Society (1877 à 1880).

Digitized by Google

Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (1877 à 1880), in-4°.

Fortschritte der Physik (1845 à 1877, t. I à XXXI), in-8°, table des t. I à XXXI.

H.-W. Dove und *L. Moser*. — Repertorium der Physik, 1847-1846; 7 vol.

G.-E. Fechner. — Repertorium der Experimental-Physik, 1832; 3 vol.

Ferdinand Bothe. — Physikalisches Repertorium oder die wichtigsten Sätze der elementaren Physik, 1871; 1 vol.

Pouillet Muller. — Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 1857; 7 vol.

G. Karsten F. Harms und *G. Meyer*. — Einleitung in die Physik, 1869; 1 vol.

Quintus Icilius. — Experimental-Physik, ein Leitfaden bei Vorträgen, 1861; 1 vol.

W. Eisenlohr. — Lehrbuch der Physik, 1857; 1 vol.

Challis. — Essay on the principles of Physics, 1873; 1 vol.

A. Wüllner. — Experimental-Physik, 1870; 3 vol.

A. Naccari et *M. Bellati*. — Manuale di Fisica pratica, 1874; 1 vol.

Dr *Al. Mousson*. — Die Physik auf Grundlage der Erfahrung, 1875; 3 vol.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Crónica cientifica de Barcelona (1878, t. I), in-8°.

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Œuvres de L. Foucault, 1 vol. avec planches (1878).

Bulletin trimestriel des publications de la librairie Gauthier-Villars (3e et 4e trim. de 1877, 1er et 2e trim. de 1878).

Le sucre; par M. *Dubrunfaut*, 2 vol. in-8°.

Nouveau Règlement pour la construction et l'ameublement des écoles primaires; par M. *Planat*.

Musée de Kensington. Handboock to the special Loan Collection of Scientific apparatus, 1 vol. in-8° (1876).

Catalogue of the special Loan Collection of Scientific apparatus at the south Kensington-Museum.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extrait des *Comptes rendus*).

Notice sur le R. P. Secchi; par MM. *Ferrari* (*S.*) et *Marchetti*, br. in-4°.

Notice sur les travaux de M. Romieu, par M. *Roche*, br. in-4°.

Notice sur Pierre-A. Favre; par M. *F. Le Blanc*, in-4°.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 br. in-8°.

Digitized by Google

Notice sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications à l'Exposition universelle (1878); br. in-8°.

Description d'un Baromètre-balance enregistreur; par M. *Crova*, br. in-4°.

Congrès international des sciences géographiques; 2e session (Paris, 1875); Origine et historique du Congrès, br. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau.*

Sulla vescia natatoria dei Pesci; par M. *Marangoni.*

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e leggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Neuere Apparate für natürwissenschaftliche Schule und Forschung gesammelt; von *Th. Edelmann*, 2 vol.

Observation sur le langage mathématique et sur l'enseignement du calcul; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Réforme analytique de la règle de trois ou règle d'or et Notions d'Analyse mathématique d'après Descartes, Pascal et Arnauld; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Du calcul des trajectoires, d'après les expériences de M. Bashforth sur la résistance de l'air; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la résistance de l'air sur les projectiles, d'après les expériences d'Athanase Dupré sur l'écoulement des fluides; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur les appareils Marcel Deprez pour la mesure des pressions des gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur l'intégromètre Marcel Deprez et le planimètre Amsler; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Digitized by Google

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropici dell' idrogeno; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer, par M. *Decharme*, br. in-8°.

New determination of the mechanical equivalent of heat; par M. *Joule*, br. in-4°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question de température (concours 1872); par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874; par M. *Crova*, br., in-4°.

Études des radiations émises par les corps incandescents; mesure optique des hautes températures; par M. *Crova*, br. in-8°.

Experiments on the heat conduction in stone based on Fourier's « Théorie de la chaleur (2e Partie) »; par *Ayrton* et *John Perry* (Yokohama, 1875), in-8°.

Etude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Sull' azione della cosi detta forza catalitica, spiegata secondo la theoria termodinamica; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe); par M. *Hesehus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'Orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'Orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso, manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Étude sur les alliages de plomb et d'antimoine; liquations et sursaturations qu'ils présentent; par M. *de Jussieu*, br. in-18.

Digitized by Google

Mémoire sur la vitesse de propagation des flammes; par M. *F. de Benevides.*

Fr.-Jos. Pisko. — Die neueren Apparate der Akustik, 1865; 1 vol.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme.*

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur les courbes dues à la combinaison de deux mouvements vibratoires perpendiculaires; par M. *Terquem*, op. in-4°.

Acoustique et optique des salles de réunion; par M. *Lachez*, 1 vol., 1879.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, suivi des Causes physiologiques de l'harmonie musicale de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Des grandeurs électriques et de leur mesure en valeurs absolues; par M. *Blavier*, 1 vol. in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue*, *Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Intégration des équations différentielles auxquelles conduit l'étude des phénomènes d'induction dans les circuits dérivés (Thèse, 1880); par M. *Brillouin.*

Note sur la théorie du téléphone; par M. *Navez.*

Réponse aux Observations de M. du Moncel; par MM. *Navez père* et *fils.*

Discussion sur la théorie du téléphone entre MM. *du Moncel* et *Navez.*

Lettre relative à la Note de MM. Navez père et fils sur la théorie du téléphone; par M. *du Moncel*, br. in-8°.

Des applications du téléphone et du microphone à la Physiologie et à la Clinique, 1880; par M. *Boudet de Paris*, 1 vol.

Les principales applications de l'électricité; par M. *Hospitalier*, 1 vol.

Contribucion al estudio de la Fonographia; par M. *Roig y Torres*, br. in-4°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Digitized by Google

Cinquième Note sur les paratonnerres. Coût des paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877) ; par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre;* par M. *Hervé Mangon*, br. in-4°.

The resistance of galvanometer coils; par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

The resistance of the electric light (Ext. de la Soc. of Eng. Teleg.); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

Note on electrolytic polarisation (Extrait); par MM. *Ayrton* et *John Perry*. in-8°.

Versuche vermittelst der Platten. Elektrometer über die Volta'schen Fundamentalversuche; par M. le Dr *Ph. Carle.*

Les télégraphes; par M. *Ternant*, 1 vol. in-8°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe), br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe); par M. *Bergman*, br. in-8°.

Sur une application de l'éclairage électrique faite à la filature du Champ-du-Pin; par M. *Grosseteste*, br. in-4°.

Rapport sur l'éclairage électrique avec la lampe Reynier; par M. *Dupuy*, br. in-8°.

Machina dielettrica ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

The electrical properties of Bee's-Wax and lead chloride (Extrait du Philos. Mag.); par M. *Ayrton*, br. in-8°.

Sopra un' azione ponderomotrice interna della corrente elettrica; par M. *Roiti*, br. in-8°.

The resistance of the arc of the electric light; by *Ayrton* en *John Perry*, br. in-8°.

Digitized by Google

Sur la décomposition par la pile des sels dissous dans l'eau (Thèse, 1856); par M. *J.-Ch. d'Almeida.*

Du zinc amalgamé et de son attaque par les acides; par M. *J.-Ch. d'Almeida.*

Étude sur les machines magnéto-électriques; par M. *J. Joubert*, br. in-4°.

Note on electrolytic polarisation; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Précis instrumental et thérapeutique; par M. *Tripier*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Recherches sur l'induction unipolaire, l'électricité atmosphérique et l'aurore boréale; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Théorie des phénomènes électriques; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Recherches sur la force électromotrice dans le contact des métaux et sur la modification de cette force par la chaleur; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Some electrical experiments, with crystalline selenium; par *Robert Sabine.*

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6e, 7e et 8e édit.); par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Le photomètre électrique (en russe); par M. *Egoroff*, br. in-8°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

J. Hogg.—The microscope and its history, construction and applications, 1856; 1 vol.

P. Harting und *Fr.-Wilh. Theile.*— Das Mikroskop. Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben, 1866; 3 vol.

Sur la limite ultra-violette du spectre solaire; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur l'absorption par l'atmosphère des radiations ultra-violettes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Observation sur la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance absorbant, dans l'atmosphère, les radiations solaires ultra-violettes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Étude du spectre solaire ultra-violet; par M. *Cornu.*

Digitized by Google

Sur les raies sombres du spectre solaire et la constitution du Soleil; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur quelques conséquences de la constitution du spectre solaire; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Illusions astronomiques; par M. *Schwedoff*, br. in-8°.

Azione dei raggi solari sui composti alcidi d'argento; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Description et emploi du télémètre de poche à double réflexion; par M. *Gaumet*, br. in-8°.

The mirror of Japan and its magic quality; by *Ayrton*, br. in-8°.

The magic mirror of Japan; by *Ayrton* and *J. Perry*, br. in-8°.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Nouveau procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés; par M. *A. Guébhard*.

Exposé élémentaire des découvertes de Gauss et de Listing sur les points cardinaux des systèmes dioptriques centrés; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Note sur quelques nouveaux becs intensifs (becs Siemens à régénérateurs, etc.: par M. *Cornuault*, br. in-8°.

Une application des images accidentelles. Bibliographie analytique des principaux phénomènes subjectifs de la vision depuis les temps anciens jusqu'à la fin du XVIII° siècle, suivie d'une bibliographie simple pour la partie écoulée du siècle actuel; par M. *J. Plateau*, 7 br. in-4°.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

Meteorologica Romana; par M. *Ferrari* (*G.-St.*), br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Note sur l'organisation des études météorologiques en France; par M. *Goulier*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876-1877; par M. *Meurien*.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876 à 1878; par M. *Meurien*.

Illusions astronomiques; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Digitized by Google

Théorie mathématique des formes cométaires; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Contributions à l'étude de la grêle et des trombes aspirantes; par M. *Colladon*, br. in-8°.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Joh. Müller. — Lehrbuch der kosmischen Physik, 1872; 1 vol. avec Atlas.

Joh. Müller. — Mathematischer Supplementband zum Grundriss der Physik und Meteorologie, 1866; 1 vol.

Joh. Müller. — Auflösungen der Aufgaben des Grundrisses der Physik und Meteorologie sowie des dazu gehörigen mathematischen Supplementbands, 1866; 1 vol.

A. de Humboldt. — Kosmos, 1845; 1 vol.

Digitized by Google

Digitized by Google

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1877-1880.

Dix éléments Grenet; donnés par M. *Ducretet*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *J. Duboscq*.
Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens*.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1881.)

BUREAU.

MM. Cornu, *Président.*
Gernez, *Vice-Président.*
Joubert, *Secrétaire général.*
Dufet, *Secrétaire.*
Benoit (René), *Vice-Secrétaire.*
Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. Bergon, 1879.
Bischoffsheim.
Dumoulin-Froment.
Jamin.

Janssen, 1880.
Salet.
Ste-Claire Deville (H.).
Sebert.

Bouty. 1881.
D'Eichthal.
Gariel.
Javal.

Membres non-résidants :

MM. Lecoq de Boisbaudran (Cognac), 1879.
Violle (Lyon).
Rossetti (Padoue).
Ternant (Marseille).

Bichat (Nancy), 1880.
Govi (Naples).
Gripon (Rennes).
Schwedoff (Odessa).

Alluard (Clermont-Ferrand). 1881.
Andrews (Belfast).
Lallemand (Poitiers).
Wunschendorff (Rouen).

15

MEMBRES HONORAIRES.

MM. Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Stokes (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir William Thomson, F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow.
Plateau, Membre de l'Académie royale des Sciences à Gand.

MEMBRES A VIE [1].

Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Ingénieur civil, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 120, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres, 41, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue des Feuillantines.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Directeur de l'École Normale de Perpignan.
Blavier, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), 3, rue Taitbout.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.

---

[1] Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

Digitized by Google

MM. BARDY, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 29, Regency Street, Westminster S. W. (Londres).

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

BLONDLOT, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

GUEBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 12, rue de Chartres (Neuilly-sur-Seine).

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

BORDET (LUCIEN), ancien élève de l'École Polytechnique, 121, boulevard Haussmann.

LIPPMANN, Maître de conférences à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

D'ABBADIE, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (HENRI), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

VILLIERS (Antoine), Chef des travaux chimiques à l'École de Pharmacie, 125, rue Notre-Dame-des-Champs.

JAVAL, Directeur du laboratoire d'Ophthalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

LEMONNIER, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

GROSSETESTE (William), Ingénieur, E. C. P., 47, Sinne, Mulhouse.

POTIER, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

MEYER, Ingénieur des Télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works Cᵒ limited, à Londres.

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

FRIEDEL, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RODDE (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

THOLLON, 3, rue Soufflot.

GARIEL (C.-M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

MONCEL (comte DU), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg.

Digitized by Google

MM. JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

CABANELLAS, Ingénieur, 11, rue Bernoulli.

BRÉGUET (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique, 4, rue Perrault.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).

ALEXANDRE (Henri), Élève de l'École Centrale, 7, boulevard de Morland.

ALEXIS (Ferdinand-Marius), Commis principal au Bureau télégraphique central à Marseille.

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANDREWS, Fortwilliam Park, Belfast (Irlande).

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.

ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 157, avenue d'Eylau.

ARNAUD, Notaire à Barcelonnette (Basses-Alpes).

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARSONVAL (d'), 20, avenue des Gobelins.

AUBRY (Félix), Principal du Collège de Chalon-sur-Saône.

AUBRY, Inspecteur régional des lignes télégraphiques, à Limoges.

AUGUEZ (Émile), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Répétiteur à l'École d'Agriculture de Grignon.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.

BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Nice.

BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

BARON, Inspecteur général des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.

BARRAU DE MURATEL (Maurice de), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.

BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.

BAUDOT, Employé des lignes télégraphiques, 73, rue du Cherche-Midi.

BEAU (Henri), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

Digitized by Google

MM.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, 65, boulevard Saint-Michel.

BÉCORDEL (H. de), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (Henri), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 57, rue Cuvier.

BEDOS, Professeur au Lycée, 30, rue de la Prade, à Carcassonne.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne)

BELLATI (Manfredo), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (Jules), Manufacturier à Loches (Indre-et-Loire).

BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (René), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Administrateur des lignes télégraphiques, 56, rue Madame.

BERSON, Préparateur de Physique au Collège de France.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHEREAU (Édouard), Préfet des Côtes-du-Nord.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, 45, rue d'Ulm.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BESOMBES, Employé des lignes télégraphiques, à Marseille.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences, 41, rue Philibert, à Dijon.

BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis), 3, rue Taitbout.

BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.

BLIN (Gaston), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.

BLONAY (Roger de), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOISTEL, Ingénieur civil, 8, rue Picot (avenue du Bois de Boulogne).

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).

BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration générale des lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle.

BONVALOT, Ingénieur, à Dijon.

BORDET (Lucien), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.

BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

Digitized by Google

MM.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.

BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.

BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.

BOURGET, Recteur de l'Académie d'Aix.

BOURGUET (**Lucien du**), 3, place Bernex, à Marseille.

BOUSQUET, Maître adjoint à l'École normale de la Sauve (Gironde).

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 1, rue des Deux-Portes Saint-Jean.

BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.

BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.

BREGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.

BREGUET (**Antoine**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 4, rue Perrault.

BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRILLOUIN, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Sainte-Catherine-d'Enfer.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue Denfert-Rochereau.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège).

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).

BRUNHES, Professeur au Lycée, 56, quai de Tounis, à Toulouse.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUISSON, Ingénieur, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Ingénieur, 11, rue Bernoulli.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.

CADIAT, Ingénieur, 24, rue Meslay.

CAEL, Inspecteur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.

CAILLETET, Correspondant de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine.

CALEMARD DU GENESTOUX, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, à Verdun.

CARAGUEL, Avocat, à Castres.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, 36, rue du Luxembourg.

CASALONGA, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

CHABRERIE, Professeur au Collège de Brives.

CHAMAND (**Joseph**), capitaine au 139e de ligne, à Clermont-Ferrand.

Digitized by Google

MM.

CHAPERON (**Georges**), 40, place Decazes, à Libourne.

CHARLES, Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.

CHAUVEAU, Professeur de Physique au Lycée Saint-Louis.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor (Rio de Janeiro).

CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVERIE, Professeur au Lycée d'Angoulême.

CLÉRAC, Sous-Insp^r des Lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle.

COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue des Feuillantines.

CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.

COUHIN (**Claude**), Avocat à la Cour d'Appel, 89, rue de Rennes.

COULIER, Pharmacien inspecteur des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 76, boulevard Saint-Michel.

COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.

CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROS (**Ch.**), 10, rue Saint-Ferdinand.

CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

CUSCO (le D^r), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 2, rue Gluck.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 25, rue Alsace-Lorraine, à Toulouse.

DAGUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMIEN, Professeur au Lycée, à Lille, 2, rue de la Louvière.

DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.

DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.

DEBRUN, Préparateur à la Faculté des Sciences, 1, rue Rolland, à Bordeaux.

DECLERC, Professeur au Collège de Langres (Haute-Marne).

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DELAURIER, 71, rue Daguerre.

DELESTRÉE, Inspecteur d'Académie, à Niort.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 4, rue Jeanne d'Arc, à Orléans.

DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.

DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 15, rue Champollion.

Digitized by Google

MM.

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard Saint-Michel.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 7, boulevard des Capucines.

DESPRATS, Professeur au Collège de Millau (Aveyron).

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, à Bar-le-Duc.

DOULIOT, Principal du Collège de Langres.

DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 30, rue Monsieur-le-Prince.

DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Directeur de l'École Normale de Perpignan (Pyrénées-Orientales).

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue des Feuillantines.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, carrefour de l'Observatoire.

DUJARDIN, 89, boulevard Saint-Michel.

DUJARDIN, Docteur en Médecine, rue des Malfonds, à Lille.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 60, rue des Tournelles.

DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 5, rue de Mirbel.

EHRHART (**Théophile**), Pharmacien, 5, rue Battant, à Besançon.

EICHTHAL (baron **d'**), 98, rue Neuve-des-Mathurins.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université de Varsovie (Russie).

ÉLIE, Professeur au Collège, 74, rue Saint-Gilles, à Abbeville.

ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (**Alexandre**) 49, Boulevard Voltaire.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Fontanes, 167, rue du Faubourg-Saint-Martin.

FAURE, Ingénieur, 108, boulevard Rochechouart.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.

FAVERGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, boulevard d'Enfer, 6 (au coin de la rue du Bac).

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.

FERRAY (**Édouard**), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FONTAINE (**Hippolyte**), 15, rue Drouot.

FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.

FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Melun.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Digitized by Google

MM.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 60, rue Grenelle Saint-Germain.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARBE, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 2, rue Levacher, à Alger (Algérie),
GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.
GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.
GARIEL (**C.-M.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.
GARZA (**Pedro**), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).
GAUMET, Lieutenant d'Infanterie, 52, rue Clerc.
GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.
GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.
GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 13, place Pey Berland, à Bordeaux.
GÉRALDY (**Frank**), Ingénieur électricien, 33, rue Saint-Denis, à Asnières.
GERMAIN (**Pierre**), employé des Télégraphes, à Clermont-Ferrand.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur au séminaire de Lachapelle, près Orléans.
GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.
GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).
GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.
GOTENDORF (**Silvanus**), Administrateur Directeur de la Compagnie belge des Téléphones, 30, rue de l'Écuyer, à Bruxelles (Belgique).
GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.
GOVI, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).
GOWER (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, Q. Great Winchester street, London, E.-C.
GOULIER, Colonel du Génie, 49, rue Vanneau.
GOUY, Docteur ès sciences, 10, rue de Vaugirard.
GRAMMACINI (**G.-H.-F**), Receveur du Bureau télégraphique central à Marseille.
GRAVIER, Ingénieur, 25, rue Lezsno, à Varsovie (Russie).
GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber Gutta-percha and telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber Gutta-percha and telegraph Works C°, Silwertown. Essex, à Londres.
GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.
GRIVEAUX, Professeur au Prytanée de la Flèche.
GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, 36, boulevard Saint-Martin, à Saint-Quentin.

Digitized by Google

MM.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 47, E. C. P. Sinne, Mulhouse.

GUEBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 12, rue de Chartres, à Neuilly-sur-Seine.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUEROUT, 15, rue Champollion.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

HESEHUS (**N.**), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, 23, rue d'Arcole.

HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 14, quai de Béthune.

HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.

HUGUENY, Prof. à la Faculté des Sciences, 4, traverse du Chapitre, à Marseille.

HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

INFREVILLE (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 39, Dey street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

ITSCHNER, Principal du Collège de Béziers.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.

JAMIN, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 9, rue Mariès, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JENNESSON, ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JENNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 74, rue de Dunkerque.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.

JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 15, rue Drouot.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet (Grenelle-Paris).

JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester (Angleterre).

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**de**), Imprimeur, à Autun.

Digitized by Google

MM.

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine au 121e de ligne, à Saint-Étienne.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KUHN, Curé à Nagy-Szent, Miklos Comit Toront (Hongrie).

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie à Bordeaux.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 6, rue Cassini.

LACHEZ, Architecte, 113, rue Lafayette.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (Comte **de**), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue St-Ambroise, à Melun.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMANSKY, Professeur à l'Université, 14, rue Mochowaia, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY, Directeur de la Manufacture de caoutchouc, à Chamalières (Puy-de-Dôme).

LAPLAICHE (**Alexandre**), Commissaire de surveillance administrative des Chemins de fer, à Besançon.

LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.

LARTIGUE, Directeur de la Société générale des téléphones, 66, rue Neuve-des-Petits-Champs.

LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée de Nancy.

LAWTON (**George Fleetwood**), Électricien de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LE BLANC (**Félix**), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 46, boulevard Magenta.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Directeur de l'Institution Saint-Sauveur, à Redon (Ille-et-Vilaine).

LECARME, Professeur au Collège Chaptal, 37, rue de Saint-Pétersbourg.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.

LECHATELLIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 33, rue du Cherche-Midi.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), Correspondant de l'Institut, à Cognac.

LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

Digitized by Google

MM.

LERMANTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte (Corse).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.

LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Troyes.

LIBERT (**C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPMANN, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

LISBONNE (**Fernand**), Inspecteur de la Compagnie générale transatlantique, 73, boulevard Magenta.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

LOIR, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Lyon.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), premier aide à la chaire de Physique expérimentale de l'Université de Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LVOFF (**Th.**), Secrétaire de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MACÉ DE LÉPINAY, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, à Marseille.

MAGNE, Inspecteur des lignes télégraphiques, 34, avenue de Villiers.

MAISONOBE, Lieutenant du Génie, à Avignon.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MANEUVRIER, Agrégé, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MANGIN, Lieutenant-colonel du Génie, 18, boulevard des Invalides.

MARÉCHAL, Professeur au Lycée Fontanes, 52, rue Lemercier.

MAREY, Membre de l'Institut, 13, rue Duguay-Trouin.

MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MASCART, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSE, Professeur au Collège d'Épernay.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.

MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue des Feuillantines.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 17, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.

MÉNIER (**Henri**), 5, avenue Van-Dyck.

MERCADIER, Sʼ-Inspecteur des télégraphes, 65, rue de Bourgogne.


Digitized by Google

MM.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 44, rue Boursault.

MERSANNE (**de**), Ingénieur civil, 13, rue Vavin.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, 12, rue Ordener.

MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).

MEURIEN, Pharmacien, à Lille.

MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONCEL (Comte **du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg, et à Lebisey (près Caen).

MONTFERRIER (**Abel de**), Étudiant, 70, rue Blanche.

MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.

MONTEFIORE, 118, rue de Grenelle.

MONTEIL (**Silvain**), Professeur au Collège de Vannes.

MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.

MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.

MORIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Poitiers.

MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques, 83, rue de Rennes.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.

MOUCHOT, villa Bauer, à Alger (Algérie).

MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 29, boulevard Saint-Michel.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 47, rue des Feuillantines.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**, F. C. S.), 29, Regency-Street, Westminster S. W., Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste au chemin de fer de l'Est, 98, rue du Faubourg-Poissonnière.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NIAUDET, Ingénieur civil, 6, rue de Seine.

NOAILLON, Ingénieur civil, 25 *bis*, rue Gutenberg, à Boulogne-sur-Seine.

ODINOT, Professeur au Collège d'Épinal.

OFFRET, Professeur au Lycée de Lille.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

OLIVIER (**Louis**), Licencié ès Sciences naturelles, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue des Feuillantines.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 73, boulevard Haussmann.

Digitized by Google

MM.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PALMADE, Lieutenant du Génie, à Montpellier.

PARAYRE (l'Abbé), Licencié ès Sciences physiques, 74, rue de Vaugirard.

PASSOT (Dr), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph Co, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph Co, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PEREZ DE NUEROS (**Federico**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PHILIBERT, attaché au Ministère des postes et des télégraphes, à Marseille.

PHILIPPART (**Simon**), Ingénieur, 27, rue Bayen.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 43, rue Delambre.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATEAU, Membre de l'Académie royale des Sciences, 15, place du Casino, à Gand (Belgique).

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POINCARÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD, Ingénieur de la Marine, à Indret, par la Basse-Indre (Loire-Inférieure).

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 5, rue d'Argenteuil.

POTIER, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 62, rue de Provence.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier, à Elbeuf.

POUSSIN (**Louis**), avocat, à Saint-Aubin-lès-Elbeuf.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'instruments d'Optique, 1, rue Bonaparte.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PRIOUX, Professeur au Lycée St-Louis, 5, place Sorbonne.

PUCHEU, Professeur au Collège de Béziers.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 59, rue Madame.

Digitized by Google

MM.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RANQUE (**Paul**), Étudiant en Médecine, 18, rue de la Sorbonne.

RAULX, Receveur des postes et télégraphes, à Aurillac.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

REGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie à la Sorbonne.

RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 39, rue de Moscou.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des hautes études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle, à Paris.

RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 5, rue Bonaparte.

RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.

RIVIÈRE, Préparateur agrégé à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

ROBIN (**Ch.**), Directeur de l'École de l'orphelinat de Cempuis (Oise).

RODDE (**Ferd.**), 3, cité Magenta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 42, avenue Gabriel.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROLLAND (**E.**), Membre de l'Institut, Directeur général des Manufacture de l'État, 66, rue de Rennes.

ROMANET, ancien Élève de l'École des Mines, à Bovelles, par Picquigny (Somme).

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, 23, rue Lepeltier.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route Saint-Leu, à Enghien.

ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Neuve.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

Digitized by Google

MM.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

SALET, Maître de conférences de Chimie à la Sorbonne, 120, boulevard Saint-Germain.

SANDOZ (Albert), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 4, rue des Fossés-Saint-Jacques.

SARCIA (Gril), Capitaine d'Artillerie de Marine, 9, rue de Tocqueville.

SAUTTER (Gaston), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (Henri), Commis principal des Télégraphes, 2, rue de l'École-Normale, à Évreux.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SEBERT, Lieutenant-Colonel d'Artillerie de Marine, 17, boulevard de Courcelles.

SÉGUIN, Ancien Recteur, 70, boulevard Saint-Michel.

SEIGNETTE (Adrien), Licencié ès Sciences, 87, rue du Bac.

SERRÉ-GUINO, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SERRIN (V.), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SICCARDI (le Comte Émile), Ingénieur, 7, via Cavour, à Turin (Italie).

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

SIMOUTRE (l'Abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (G.), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Collège Rollin, 116, rue de Rennes.

SOURDEVAL (de), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (W.), Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STAPFER (Daniel), Ingénieur, à Marseille.

STREET, Ingénieur, 27, rue Tronchet.

STEPANOFF, Préparateur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (G.-G.), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (Al.), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSERENC DE BORT (Léon), Attaché au Bureau central météorologique, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

Digitized by Google

MM.

TERNANT, Représentant de l'Eastern Telegraph C°, 62, boul. de Longchamp, à Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.

THENARD (**Arnould**), 36, rue de Lille.

THIERCELIN, Élève à l'École Centrale, 12, rue de Beaune.

THOLLON, 3, rue Soufflot.

THOMSON (**Silvanus-P.**), Professeur à University College, Bristol (Angleterre).

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THYRION, Professeur au Collège de Fontainebleau.

TILMANT (**Victor**), Directeur de l'École supérieure à Lille.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (le Dr), 4, rue de Hanovre.

TROTIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, 34, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

TURIÈRE, Professeur au Collège de Bédarieux.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ FIQUET-BENONI, Négociant, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VAN DER VLIET, Privat-Docent de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 7, rue du Remorqueur, à Bruxelles (Belgique),

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VILLIERS (**Antoine**), Chef des travaux chimiques à l'École de Pharmacie, 125, rue Notre-Dame-des-Champs.

VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

VIORRAIN, Préparateur de Chimie, 65, rue du Cardinal-Lemoine.

VOIGT, Professeur au Lycée de Lyon.

WLADIMIRSKI (**Alexis**), Professeur de Physique à l'École technique de Moscou (Russie).

WÀHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland place, Londres, W.

Digitized by Google

MM.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 11, rue Berthollet.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WEYER, 50, route d'Aubervilliers, à Pantin.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 127, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 81, rue des Feuillantines.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 17, rue Jeanne-d'Arc, à Rouen.

XAMBEU, Professeur au Collège de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

Février 1881.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.



Digitized by Google

Digitized by Google

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

6787 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1881.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
7008 Quai des Augustins, 55.

Digitized by Google

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1881.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1881

Digitized by Google

Digitized by Google

STATUTS

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE

Par Décret du 15 janvier 1881.

Digitized by Google

DÉCRET.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le Rapport du Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts;
Vu la demande formée par la Société française de Physique (Paris), à l'effet d'être reconnue comme établissement d'utilité publique;
Vu les Statuts de ladite Société, l'état de sa situation financière et les autres pièces fournies à l'appui de sa demande;
L'avis favorable du Préfet de la Seine et du Conseil municipal de Paris;
Le Conseil d'État entendu,

Décrète :

ART. 1er.

La Société française de Physique (Paris) est reconnue comme établissement d'utilité publique.

ART. 2.

Les Statuts sont approuvés tels qu'ils sont ci-annexés. Aucune modification ne pourra y être apportée sans l'autorisation du Gouvernement.

ART. 3.

Le Président du Conseil, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, est chargé de l'exécution du présent Décret.

Fait à Paris, le 15 janvier 1881.

Signé : JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :
Le Président du Conseil,
Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts,
Signé : JULES FERRY.

Pour ampliation :
Pour le Chef du Cabinet et du Secrétariat,
Le Chef du Bureau des Archives,
H. VALMORE.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Reconnue comme établissement d'utilité publique
par Décret du 15 janvier 1881.

STATUTS.

TITRE I[er].

Société. — Son objet.

Art. I[er].

La Société française de Physique a pour objet de contribuer à l'avancement de la Physique.

Elle tient des séances consacrées à l'exposé et à la discussion des travaux de Physique.

Elle met sous les yeux de ses Membres les expériences intéressantes et nouvelles.

Elle fait circuler parmi ses Membres résidant en France les principales publications scientifiques relatives à la Physique.

Elle publie un Bulletin qui est distribué gratuitement à tous ses Membres.

Elle s'interdit toute discussion étrangère à son objet.

Elle a son siège à Paris.

TITRE II.

Des Membres de la Société.

Art. II.

La Société se compose de Membres résidants, de Membres non résidants, de Membres à vie et de Membres honoraires.

Pour être élu Membre de la Société, il faut être présenté par deux Membres qui adressent une demande par écrit au Président.

L'élection a lieu selon les prescriptions du règlement intérieur.

Art. III.

Les Membres résidants sont ceux qui habitent le département de

Digitized by Google

la Seine. Ils payent un droit d'entrée de 10 francs et une cotisation annuelle de 20 francs.

Les Membres non résidants ne payent pas de droit d'entrée, et leur cotisation est fixée à 10 francs.

Les Membres résidants ou non résidants deviennent Membres à vie et sont libérés de toute cotisation moyennant le versement de 200 francs ([1]). Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées ainsi qu'il est dit en l'article XIV, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société.

Le nombre des Membres de ces trois catégories est illimité.

Art. IV.

Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

TITRE III.

Bureau et Conseil.

Art. V.

La Société nomme un Bureau composé de : un Président, un Vice-Président, un Secrétaire général, un Secrétaire, un Vice-Secrétaire et un Archiviste-Trésorier.

Art. VI.

Le Bureau ne comprend que des Membres résidants et est nommé à la majorité absolue des voix des Membres présents à la séance d'élection.

([1]) Le Conseil a décidé que le payement des 200 francs pourra être effectué par versements de 50 francs pendant quatre années consécutives.

Digitized by Google

Le Président préside les séances de la Société et celles du Conseil.

Le Président d'une année est le Vice-Président de l'année précédente.

Il n'est pas immédiatement rééligible.

Le Secrétaire d'une année est le Vice-Secrétaire de l'année précédente.

Il n'est pas immédiatement rééligible.

Le Secrétaire général et l'Archiviste-Trésorier sont nommés pour deux ans; ils sont tous deux rééligibles.

Art. VII.

Le Secrétaire général représente la Société en justice et dans les actes de la vie civile. Les dépenses sont mandatées par lui.

L'Archiviste-Trésorier est chargé de la surveillance de la bibliothèque et du matériel de la Société.

Il opère les recettes et paye les dépenses.

Il a le dépôt des valeurs mobilières.

Art. VIII.

La Société est administrée par un Conseil.

Le Conseil se compose du Bureau et de vingt-quatre Membres nommés à l'élection. Ceux-ci sont renouvelés par tiers chaque année; tous les Membres de la Société sont appelés à participer à cette élection, soit par dépôt direct de leur vote, soit par correspondance.

TITRE IV.

Assemblées générales.

Art. IX.

Il y a chaque année une assemblée générale dont l'époque est déterminée par le règlement intérieur.

Art. X.

Les comptes des recettes et dépenses sont présentés chaque année au Conseil par le trésorier, puis communiqués à la Société.

La Société désigne par un scrutin trois Membres étrangers au

Digitized by Google

Conseil, qui font l'examen des comptes et soumettent leur rapport au vote de l'assemblée générale.

Art. XI.

Dans l'intérêt des Membres non résidants, la Société consacre une ou plusieurs séances à répéter les principales expériences faites dans le courant de l'année.

TITRE V.

Des fonds de la Société.

Art. XII.

Les revenus de la Société se composent :

1° Des droits d'entrée et cotisations payés par ses Membres;

2° Du revenu des biens et valeurs de toute nature lui appartenant;

3° Des dons et legs qu'elle peut recevoir.

Art. XIII.

Les délibérations relatives à l'acceptation des dons et legs, aux acquisitions ou échanges d'immeubles, sont soumises à l'approbation du Gouvernement.

Art. XIV.

Les excédents de recettes qui ne sont pas indispensables aux besoins ou au développement de la Société sont placés en son nom, en rentes sur l'État, en actions de la Banque de France ou en obligations des chemins de fer français émises par des Compagnies auxquelles un minimum d'intérêt est garanti par l'État.

TITRE VI.

Dispositions générales.

Art. XV.

Les présents Statuts ne peuvent être modifiés que sur la proposition du Conseil, par un vote émis en assemblée générale, à la majorité des deux tiers des Membres présents, sans que le nombre de ceux-ci puisse être inférieur à soixante.

Digitized by Google

Les modifications proposées sont indiquées dans les convocations adressées à tous les Membres de la Société. La délibération portant modification n'est exécutoire qu'après approbation du Gouvernement.

Art. XVI.

En cas de dissolution de la Société, la dévolution et l'emploi de son avoir tant mobilier qu'immobilier font l'objet d'une délibération du Conseil. L'actif net est employé dans l'intérêt des progrès de la Physique. La décision du Conseil est soumise à l'approbation du Gouvernement.

Art. XVII.

Un Règlement intérieur préparé par le Conseil et arrêté par l'assemblée générale, à la majorité des votants, détermine les conditions de détail propres à assurer l'exécution des présents Statuts.

Si l'assemblée ne réunit pas cinquante Membres, une nouvelle convocation est faite, et le vote est alors valable quel que soit le nombre des Membres présents.

Approuvé :

Le Président du Conseil,
Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts,

Jules FERRY.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 7 JANVIER 1881.

PRÉSIDENCE DE MM. MASCART ET CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 décembre 1880 est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. ANTHONISSEN (Joseph), à Paris;
BAILLAUD, directeur de l'Observatoire de Toulouse;
GRAVIER, ingénieur à Varsovie (Russie);
DE MÉRITENS, ingénieur à Paris;
MOLTENI, ingénieur à Paris;
PHILIPPART (Simon), ingénieur à Paris.

M. Mascart communique à la Société une Lettre de M. le Président de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg, annonçant que dorénavant les procès-verbaux de la Société française de Physique seront traduits et insérés dans le *Bulletin de la Société de Saint-Pétersbourg*.

M. Bouty signale dans les pièces de la Correspondance :

1° Une Lettre de M. Terquem, relative à l'explication des effets du diaphragme dans le brûleur de Bunsen qu'il a présenté à la dernière séance. M. Terquem se rallie à l'opinion que l'effet du diaphragme est d'égaliser la vitesse des courants gazeux et d'empê-

Digitized by Google

cher par suite la flamme de rétrograder par un filet gazeux doué d'une vitesse trop faible.

2° Une Note de M. Delaurier sur le photophone.

3° Une Note de M. Pellerin sur le lavage automatique des filtres.

M. Mascart prononce une allocution où il rend hommage aux Membres de la Société décédés pendant l'année 1880 et rappelle les travaux présentés; il annonce l'ouverture d'une souscription ayant pour but l'érection, dans la salle des séances, d'un buste de M. d'Almeida.

L'unanimité des Membres présents adopte l'idée de la souscription.

M. Mascart cède la présidence à M. Cornu, Président pour l'année 1881.

M. Cornu déclare le scrutin ouvert pour l'élection du Vice-Président, du Secrétaire général et du Vice-Secrétaire ; il annonce que M. Bouty, qui remplissait depuis la mort de M. d'Almeida les fonctions de Secrétaire général, décline toute candidature, à cause de ses occupations trop nombreuses.

Le Bureau de l'année 1881 se trouve ainsi composé :

MM. Cornu, *Président*.
Gernez, *Vice-Président*.
Joubert, *Secrétaire général*.
Dufet, *Secrétaire*.
Benoit, *Vice-Secrétaire*.
Niaudet, *Archiviste-Trésorier*.

M. Niaudet, Trésorier, rend compte à la Société de l'état de ses finances. Une Commission de trois Membres, MM. Bertin, Bouty et Raynaud, est chargée de la vérification des comptes.

M. Bertin présente, au nom de M. Duboscq, un appareil de projection destiné à montrer et à mesurer les phénomènes de polarisation chromatique. Une partie du faisceau lumineux qui doit tomber sur le polariseur traverse une division gravée sur verre, est déviée perpendiculairement à sa direction primitive par un prisme à réflexion totale et, à l'aide d'une lentille convergente et d'un miroir convena-

Digitized by Google

blement incliné, va former sur l'écran une image nette de la division; au polariseur est fixé un index qui se projette sur cette image et permet de mesurer la rotation du polariseur. La lame cristalline peut être fixée au polariseur ou en être indépendante.

M. Bertin présente un autre appareil de M. Duboscq, où l'on peut, à l'aide du déplacement de deux lentilles, faire varier à volonté la grandeur d'une image projetée sur un écran fixe.

M. Niaudet présente un appareil de M. Ader, destiné à montrer l'action des courants téléphoniques. C'est une sorte d'électrodynamomètre; le courant traverse deux bobines fixes et une bobine mobile placée entre les deux premières; cette bobine mobile est fixée à l'extrémité d'une aiguille aimantée dont la force directrice fait équilibre à l'attraction des bobines. L'axe de rotation de cette aiguille est formé de deux parties métalliques communiquant chacune avec une des extrémités du fil de la bobine mobile et séparées par une pièce isolante en ivoire. La déviation est plus grande pour les sons aigus que pour les sons graves, très nette avec le son O ou le son OU, faible avec l'I.

ALLOCUTION DE M. MASCART,

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ.

Avant de quitter ce fauteuil, je vous dois un compte rendu des travaux et de l'état général de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

L'an dernier, à pareille époque, mon éminent prédécesseur s'estimait heureux de n'avoir à signaler la perte d'aucun de nos collègues. La Société a été cette fois extrêmement éprouvée : vous êtes encore sous l'émotion d'un deuil récent qui nous a été particulièrement sensible, et je répondrai à votre sentiment en commençant cette revue par un témoignage de regrets pour les principaux collègues que nous avons perdus.

J'ai à peine besoin de vous rappeler les titres scientifiques de M. Lissajous. Ses travaux sur l'étude optique des sons lui avaient donné une notoriété scientifique universelle; ils sont aujourd'hui

Digitized by Google

cités dans tous les Ouvrages de Physique et d'Acoustique musicale.

Les connaissances spéciales de M. Lissajous l'ont appelé naturellement dans la Commission chargée d'établir un diapason musical uniforme et dans les jurys des Expositions universelles. Enfin, l'Académie des Sciences a récompensé ses travaux en lui accordant pour la première fois le prix Lacaze.

M. Lissajous a pris une part active aux travaux de la Commission scientifique pendant le siège de Paris, et son départ en ballon le 1[er] décembre a failli lui coûter la vie. Cet événement, dont il avait gardé une impression durable, et des deuils cruels n'ont pas peu contribué à hâter sa fin.

M. Lissajous était l'un des Membres les plus assidus de ces réunions privées, dans le laboratoire de Physique de l'École Normale, qui ont été le berceau de notre Société; il a fait partie, à ce titre, de la Commission chargée d'élaborer nos statuts provisoires et il en fut le rapporteur tout indiqué, moins, comme il le disait, par droit d'ancienneté que par la justesse de ses vues et le concours actif qu'il y avait apporté.

A côté de lui, je citerai un savant éminent dont la modestie a été le plus grand défaut, que nous avons peu vu dans nos réunions parce que l'état de sa santé exigeait les plus grands soins et le tenait souvent éloigné de Paris. Après avoir quitté l'industrie, qui exigeait une activité au-dessus de ses forces, M. Gaugain, sans ressources personnelles et sans laboratoire, a consacré le reste de sa vie à des travaux de Physique expérimentale.

L'ordre d'idées dans lequel il s'était placé n'était malheureusement pas en faveur : nous pouvons le reconnaître aujourd'hui sans qu'il y ait dans ces paroles aucune récrimination rétrospective, parce qu'on a eu le temps de lui rendre justice et que l'Académie des Sciences, sous la forme d'un prix permanent, lui avait constitué une sorte de pension qui lui donnait la sécurité de l'avenir.

Sans parler d'un grand nombre de Mémoires relatifs à diverses questions d'électricité et de magnétisme, M. Gaugain gardera dans la Science une place des plus honorables par ses travaux sur la thermo-électricité, les propriétés de la tourmaline, les lois de la propagation des courants dans l'état permanent et l'état variable, et le rôle des diélectriques. Tous ses Mémoires sont remplis d'idées originales, de méthodes expérimentales ingénieuses, et restent des

Digitized by Google

modèles à indiquer aux travailleurs isolés, que le défaut de ressources et d'instruments risque quelquefois de décourager.

J'arrive enfin à notre regretté Secrétaire général, dont le souvenir est dans votre pensée à tous et dont la fin imprévue a été pour notre Société un véritable deuil de famille.

En dehors de son enseignement au Lycée Henri IV, où la clarté de son exposition et le dévouement à ses élèves lui avaient créé une situation respectée, M. d'Almeida avait fait preuve, dans différents travaux scientifiques, d'une grande habileté expérimentale, d'un jugement sûr et d'une rare finesse d'observation; mais son véritable rôle s'est dessiné plus tard. A la suite du siège de Paris, où il s'était consacré aux travaux de défense avec une abnégation absolue, il rêvait de contribuer pour sa part au réveil de l'activité scientifique dans notre pays. Ce sont les sentiments les plus élevés qui l'ont décidé à consacrer le reste de sa vie à deux œuvres auxquelles son nom restera attaché : la création du *Journal de Physique,* qui a conquis si rapidement une situation importante dans la littérature scientifique, et l'organisation de notre Société.

L'aménité de son caractère, le souci constant qu'il prenait de nos travaux, même pendant ses absences, la sûreté de son jugement et son amour du bien en avaient fait notre guide naturel. On peut dire aujourd'hui que l'avenir de la Société est assuré et qu'elle progressera sans lui, grâce à l'esprit qu'il lui a imprimé. Votre Conseil, dans sa dernière réunion, a cru répondre au sentiment de tous nos collègues en prenant l'initiative d'une souscription destinée à faire les frais d'un buste de M. d'Almeida, qui serait conservé dans la salle de nos séances. Ses amis particuliers et l'Association des anciens élèves du Lycée Henri IV se sont joints avec empressement aux organisateurs de cette souscription, et l'importance des sommes déjà reçues nous en garantit dès maintenant le succès.

J'espère qu'en faveur des morts vous me permettrez d'être plus court au sujet des Communications importantes présentées à la Société dans le cours de l'année. Je citerai d'abord celles de savants éminents venus de l'étranger : de M. Crookes, sur les propriétés singulières des gaz très raréfiés; de M. Bell, sur sa merveilleuse découverte du photophone.

L'électricité paraît aujourd'hui la branche favorite de la Physique; elle a donné lieu à de nombreux Mémoires.

Digitized by Google

Il me suffira de citer quelques noms :

M. Pellat et M. Bouty, sur les forces électromotrices et les effets de contact.

M. Marcel Deprez, sur les machines magnéto-électriques, la mesure de l'énergie des courants.

M. Joubert, sur la théorie des machines magnéto-électriques.

M. Bertin, sur la balance d'induction et l'action de l'étincelle sur les gaz raréfiés.

M. Reynier, sur une pile nouvelle.

M. Mercadier, sur la radiophonie.

En Optique, je rappellerai les Communications de M. Mouton sur les longueurs d'onde des radiations infra-rouges ; de M. Crova, sur la mesure des hautes températures ; de M. Bertin, sur les miroirs magiques ; de M. Cornu, sur l'absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes ; de M. Javal, sur l'astigmatisme ; de M. Dufet, sur les propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes, etc.

Je demande pardon aux autres parties de la Science et aux collègues que je ne cite pas pour ménager vos instants. Vous voyez que l'activité de la Société est loin de se ralentir, et le nombre toujours croissant des Membres qui assistent aux séances nous en est une preuve continue.

La Société compte aujourd'hui 533 Membres, dont 93 nommés en 1880. Nous avons reçu dans l'année 22 souscriptions nouvelles, qui portent à 53 le nombre des Membres perpétuels.

La situation financière de la Société est très prospère, car l'excès des recettes sur les dépenses monte, cette année, à plus de 8000^{fr}. L'élévation inaccoutumée de cet excédent tient en partie aux souscriptions perpétuelles et aux dons généreux qui nous ont été adressés par la Compagnie des Salines du Midi et par la Compagnie des Chemins de fer du Midi. Je dois ici adresser tous nos remercîments au respectable Président des Conseils d'administration de ces deux Compagnies, M. d'Eichthal, qui est un de nos collègues et qui vous est connu depuis longtemps comme un bienfaiteur de la Science. Nous espérons que cet exemple sera contagieux.

Enfin je vous rappellerai le don d'un manuscrit précieux d'Ampère, qui nous a été légué par M. d'Almeida.

La Société ayant décidé qu'elle solliciterait du Gouvernement la

Digitized by Google

reconnaissance d'utilité publique, une séance générale a eu lieu le 5 avril pour reviser nos statuts, afin d'y apporter quelques modifications utiles et de les rendre conformes aux règles établies par l'Administration. Toutes les démarches ont été faites à ce sujet : je ne crois commettre aucune indiscrétion en ajoutant que notre dossier est en bonne voie, et j'espère que la Société ne tardera pas à recueillir, par cette sorte de déclaration de majorité, la récompense de ses travaux et des services qu'elle rend à la Science.

Il me reste, en terminant, à vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à la présidence et de votre bienveillance continue, qui m'a rendu la tâche agréable, et je prie M. Cornu de vouloir bien prendre la place qui lui revient à tant de titres.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Ch. Robin, directeur de l'École de l'Orphelinat de Cempuis (Oise);

Philibert, attaché au Ministère des Postes et Télégraphes, à Alençon.

M. de Méritens présente une machine magnéto-électrique à courants discontinus. Les électro-aimants induits sont formés de 70 lames de fer demi-découpées à l'emporte-pièce et rivées ensemble ; cette disposition permet une aimantation et une désaimantation très rapide, d'où la possibilité d'arriver à des vitesses de 2000 tours.

Dans le modèle des phares anglais, il existe 5 anneaux réunis qui donnent 5000 à 6000 bougies spermaceti. Pour les phares français, où la vitesse devait être moindre, il existe deux circuits distincts de 40 bobines chacun ; on obtient 625 becs Carcel à 425 tours, mais

Digitized by Google

en réunissant les deux circuits on peut instantanément doubler la lumière.

Comme machine à grande tension, M. de Méritens a construit une machine comportant 6^{km} de fil induit de $0^{m},002$; les commotions sont insoutenables et l'on peut éclairer un tube de Geissler de $1^{m},20$ de longueur.

Pour aimanter les aimants fixes en fer à cheval, M. de Méritens en réunit deux, pôle contre pôle, en les séparant par une lame de cuivre; les branches des aimants sont entourées d'hélices magnétisantes, et le courant passe alternativement dix secondes dans chaque aimant.

L'acier s'échauffe beaucoup dans ce mode d'aimantation.

M. de Méritens, avec une machine tournée à la main, fait fonctionner une lampe Swan; c'est une lampe à incandescence dont le conducteur de charbon placé dans le vide est formé par un fil de $\frac{2}{10}$ à $\frac{3}{10}$ de millimètre, obtenu par la carbonisation du parchemin.

A propos de l'échauffement des aimants pendant l'aimantation, à la suite d'observations de MM. Cornu et Mascart, M. Joubert fait remarquer que le courant, bien que continu, est variable et produit par suite des variations de magnétisme.

M. Ayrton communique à la Société des expériences qu'il a faites sur un noyau de fer doux soumis à l'action d'un courant constant en protégeant le fer doux du rayonnement de la spirale échauffée par un courant d'eau continu. Il n'a pu, dans ces conditions, constater aucun échauffement.

M. de Méritens ajoute quelques détails sur une machine qu'il construit pour M. Spottiswoode, pour exciter une bobine d'induction; les étincelles sont assez courtes, mais très nourries. M. Spottiswoode, en faisant passer cette étincelle dans des tubes vides de grande longueur, a observé qu'elle donnait d'autant plus de chaleur qu'il y avait plus d'inversions dans l'unité de temps.

M. Hospitalier annonce qu'il a reproduit avec succès les expériences de M. Dunand sur le condensateur parlant. Dans le circuit inducteur d'une bobine, on place une pile et un microphone qui sert d'interrupteur; dans le circuit induit sont intercalés le condensateur et une pile. Cette pile était formée d'éléments Leclanché; il en faut au moins deux. L'effet augmente avec le nombre des

Digitized by Google

éléments jusqu'à 8, mais au delà l'augmentation est insensible. M. Hospitalier fait remarquer que l'effet de la pile est de charger toujours le condensateur dans le même sens; l'effet des variations du courant induit est de faire varier l'intensité, mais non le sens de la charge.

M. Blondlot pense que l'effet est dû surtout à la polarisation de la pile et qu'on obtiendrait le même effet avec des voltamètres.

Sont élus Membres du Conseil :

Membres résidants :

MM. Bouty.
d'Eichthal.
Gariel.
Javal.

Membres non résidants :

MM. Alluard (Clermont-Ferrand).
Andrews (Belfast).
Lallemand (Poitiers).
Wunschendorff (Rouen).

Machines magnéto-électriques de M. de Méritens.

Quand on approche du pôle d'un électro-aimant droit le pôle d'un aimant permanent, un courant d'induction naît et parcourt le fil de l'électro-aimant.

Un courant d'induction, égal et de sens contraire au premier, circule dans le fil de l'électro-aimant quand on éloigne, avec la même vitesse et à la même distance, le pôle de l'aimant permanent.

C'est sur ce principe qu'a été fondée la construction des machines de Clarke, de Nollet, etc.

Si l'on promène le pôle d'un aimant permanent d'une extrémité à l'autre d'un électro-aimant, en le tenant toujours très près du fil

Digitized by Google

et parallèlement au noyau de fer doux, un courant d'induction est engendré pendant tout le mouvement. M. du Moncel l'a appelé *courant d'interversion polaire*.

C'est sur ce principe qu'a été fondée la construction des machines dynamo-électriques de Gramme, Siemens, etc. La machine de M. de Méritens réunit ces deux modes d'induction, qui agissent *simultanément*.

L'anneau est composé de seize bobines qui correspondent à seize pôles d'aimants permanents devant lesquels elles passent successivement, à chaque tour de la machine. Chaque bobine est le seizième de la circonférence. Elle est composée de soixante lames de tôle de $0^{m},001$ d'épaisseur. Ces lames sont découpées mécaniquement en forme de T aux deux extrémités de la bobine et rivées toutes ensemble, de façon à former un noyau solide. Entre les deux T des extrémités on enroule le fil, fin si l'on veut avoir de la tension, gros si l'on désire une machine donnant un courant de quantité.

La constitution lamellaire du noyau permet d'obtenir l'aimantation et la désaimantation très rapides. Aussi les machines de M. de Méritens peuvent-elles marcher avec avantage à huit cents et mille tours par minute.

La régularité de leur marche, le peu de force motrice qu'elles exigent et l'absence complète d'échauffement les ont fait adopter pour le service des phares, en France et en Angleterre.

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

M. Chrétien, chef de fabrication à l'usine de Chamalières (Puy-de-Dôme);

Digitized by Google

MM. Ponselle (George), ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris;
Ranque (Paul), étudiant en médecine, à Paris.

M. le Président donne lecture d'un décret, en date du 15 janvier 1881, par lequel la Société française de Physique est reconnue comme établissement d'utilité publique.

M. le Secrétaire général communique une Note de M. Germain, relative à l'influence de la pression sur le foisonnement de la chaux. La conclusion des expériences est que le foisonnement est en raison inverse de la pression. La chaux éteinte dans le vide avec la quantité d'eau strictement nécessaire est dans un état de division extrême. Sous des pressions un peu fortes, l'hydratation est incomplète.

M. Popp explique les procédés employés pour la distribution de l'heure par les horloges pneumatiques.

M. Popp, interrogé sur la vitesse de transmission de la pression dans les tuyaux de conduite, répond que dans un tube presque droit de 5^{km} il n'y a que $3\frac{1}{3}$ secondes de retard, dans un tuyau courbe de 3^{km} le retard est de 7 secondes; avec des tuyaux très étroits, le retard est plus grand et peut atteindre 12 à 15 secondes par kilomètre.

M. Boistel présente un nouveau brûleur de gaz à lumière intensive de M. Siemens.

Le pouvoir éclairant s'élève avec la dimension du bec; le bec le plus petit dépense 300^{lit} à l'heure et produit de 6 à 7 carcels : sa dépense est donc de 40^{lit} à 45^{lit} par carcel; le bec le plus puissant dépense 1600^{lit} et produit 46 à 48 carcels : sa dépense est donc environ de 35^{lit} par carcel.

Quelques-uns de ces résultats photométriques ont été vérifiés par M. Le Blanc.

Unification et distribution de l'heure par les horloges pneumatiques; par M. V. Popp.

Le système des horloges pneumatiques consiste en une nouvelle et très simple construction de mouvements d'horloges, lesquelles.

Digitized by Google

éloignées les unes des autres, sont commandées, réglées et remontées simultanément par le moyen d'une disposition pneumatique (air comprimé) et mécanique, assurant continuellement leur marche régulière et constante. Ce système peut s'adapter à toute horloge ou pendule existante. Il a la faculté de donner la même heure, à la minute, sur tous les points d'une ville, quelle que soit leur distance du point central.

Par le moyen d'une canalisation de tubes en fer ou en plomb d'un diamètre variant de $0^m,003$ à $0^m,027$, une horloge normale centrale envoie l'impulsion aux horloges et pendules réceptrices se trouvant sur la voie publique, dans les monuments et les appartements particuliers, en distribuant l'heure sur son parcours.

L'usine centrale est reliée à l'Observatoire, dont elle reçoit l'heure exacte chaque jour; de la sorte, l'horloge normale centrale transmet invariablement et automatiquement l'heure aux horloges et pendules réceptrices.

La transmission se fait par le moyen de l'air comprimé.

L'air est comprimé dans des récipients, dits *à haute pression,* au moyen de pompes à air à double effet. Un moteur à gaz, ayant l'avantage de n'avoir pas besoin de mise en pression, est toujours prêt à suppléer à cette machine dans le cas où le nettoyage de cette dernière deviendrait urgent; les pompes elles-mêmes sont en nombre double de celles qui seraient nécessaires pour obvier à tout inconvénient ou réparation.

Les réservoirs à haute pression sont en communication indirecte avec un autre, dit *réservoir distributeur,* dans lequel la pression est toujours constante et égale à celle qui serait nécessaire pour la marche de toutes les horloges et pendules. Cette pression est de $\frac{7}{10}$ d'atmosphère au maximum. Elle est maintenue constante au moyen d'un régulateur à mercure, de construction spéciale.

Au commencement de chaque minute, l'horloge normale agit sur un tiroir qui met la canalisation en communication avec le réservoir distributeur, puis, au bout d'un nombre de secondes variable avec la longueur du réseau et qui est déterminé par l'expérience, interrompt cette communication et rétablit la communication avec l'atmosphère.

L'horloge normale directrice a l'avantage de se remonter automatiquement, c'est-à-dire que les contre-poids moteurs sont re-

Digitized by Google

montés à chaque minute de la quantité dont ils étaient descendus pour la marche du mouvement des aiguilles, ainsi que pour celle du déclanchement.

Ce remontage des deux mouvements de l'horloge s'opère à l'aide de la pression que le tiroir laisse échapper toutes les minutes, pression qui est conduite dans des cylindres dont les pistons sont soulevés et communiquent leur mouvement aux contre-poids par un système de leviers et d'engrenages.

Il s'ensuit qu'on n'a jamais à toucher à l'horloge normale, sauf pour le graissage des tourillons.

Les mouvements des horloges et pendules réceptrices (horloges à minutes) sont construits aussi simplement que possible. En outre des roues ordinaires de minuterie, elles comportent une roue de soixante dents, commandée par un cliquet fixé sur un levier, qui lui-même reçoit son mouvement d'un soufflet en cuir préparé, sur lequel repose une tige articulée à ce levier. Un autre cliquet d'arrêt empêche la roue de revenir sur elle-même une fois le mouvement produit. Lorsqu'à chaque minute la pression est envoyée dans le réseau de canalisation, le soufflet de chacune des horloges ou pendules se gonfle et fait avancer la roue d'une dent, et l'aiguille, par conséquent, d'une minute. Un taquet d'arrêt, fixé à la platine du mouvement, empêche le levier de faire avancer la roue de plus d'une dent.

L'air comprimé, qui ne demande que quelques secondes pour parvenir à l'extrémité du réseau, parcourant ainsi tous les tuyaux de conduite, fait alors avancer instantanément d'une dent, c'est-à-dire d'une minute, toutes les aiguilles des horloges et pendules placées sur le parcours de la canalisation.

Brûleur de gaz à lumière intensive de M. Siemens;
par M. Boistel.

Le nouveau brûleur à gaz de M. Siemens, qui présente une grande économie, est une nouvelle application du principe des fours *à régénérateur* du même auteur et qui consiste, comme on

Digitized by Google

sait, à utiliser la chaleur perdue pour élever la température des gaz qui doivent servir à la combustion.

L'appareil se compose essentiellement de trois parties principales : le *brûleur* proprement dit, le *régénérateur* dans lequel le gaz et l'air nécessaire à sa combustion sont préalablement échauffés au contact de la cheminée centrale dans laquelle circule une partie des produits de la combustion, et la *cheminée* d'appel, qui sert à l'évacuation de ces produits.

Le gaz arrive par un tuyau latéral et débouche dans une petite chambre annulaire, dans laquelle il se détend, de façon à n'avoir plus qu'une pression presque nulle. De cette chambre il s'élève par une série de petits tubes en cuivre de $0^{m},005$ de diamètre, formant un faisceau annulaire, dont le nombre varie de quinze à trente-deux, suivant la puissance de l'appareil, et qui constituent, à proprement parler, le *brûleur*. En traversant ces tubes, disposés dans un milieu chauffé par les produits de la combustion, le gaz s'échauffe lui-même notablement, sans toutefois acquérir une température suffisante pour se décomposer, ce qui produirait des dépôts de suie.

L'air entre dans l'appareil par l'orifice annulaire ménagé tout à fait en dessous, s'élève par le tirage naturel dû à son échauffement, dans l'espace, également annulaire, que laissent entre elles l'enveloppe extérieure et la cheminée centrale. Dans ce mouvement ascensionnel, l'air s'échauffe en léchant les parois de la cheminée centrale, et, en approchant du niveau de l'orifice supérieur des petits tubes formant les arrivées du gaz, il rencontre un anneau plat, découpé sur son bord intérieur en une série de dents comme un peigne circulaire, qui le divise en une quantité de lames minces ; le gaz, lui aussi, est divisé de même à un niveau supérieur de $0^{m},02$ environ à celui de l'anneau diviseur de l'air, par un peigne semblable, mais à dents extérieures, de sorte qu'un mélange intime des deux gaz, combustible et comburant, est assuré. La combustion s'effectue alors, et la flamme se produit sous l'aspect d'une belle nappe lumineuse qui s'élève autour d'un cylindre creux, à paroi mince, en matière réfractaire, qui surmonte et termine la cheminée centrale.

Arrivée à l'arête supérieure du cylindre réfractaire, la nappe lumineuse se renverse intérieurement ; la flamme, descendant dans

Digitized by Google

la cheminée centrale, porte ses parois, dont l'air ascendant lèche l'autre face, à une température de 600° environ. C'est dans ce contact que l'air acquiert une température de près de 500°. Ainsi partiellement refroidis, les produits de la combustion s'échappent par un tube coudé dans la cheminée supérieure, qui les conduit hors de la pièce qu'il s'agit d'éclairer.

Le Tableau suivant donne les résultats fournis par les quatre types déjà essayés :

Nombre des tubes amenant le gaz.	Consommation par heure.	Lumière produite en carcels.	Gaz dépensé par heure et par carcel en litres.
	lit		
15....	300	6 à 7	40 à 45
18....	600	15	
24....	800	20 à 21	38 à 40
32....	1600	46 à 48	33 à 35

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1881.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Berson, préparateur de Physique au Collège de France ;
Chauveau, professeur au Lycée Saint-Louis ;
Dujardin, docteur en Médecine, à Lille ;
Poincarré, ingénieur des Ponts et Chaussées;
Popp (Victor), directeur de la Compagnie générale des horloges pneumatiques, à Paris.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une Lettre de M. Stoletow annonçant la mort de M. Wladimirski, Membre de la Société.

M. le Président donne lecture de deux lettres de M. le Ministre de l'Instruction publique, la première annonçant la création d'une Revue scientifique du Comité des travaux historiques et des So-

Digitized by Google

ciétés savantes, la seconde invitant la Société de Physique à prendre part à l'Exposition d'électricité et à se faire représenter par un délégué au Congrès international des électriciens.

M. Javal dépose sur le Bureau une Brochure de M. Planat ayant pour titre : *Nouveau Règlement pour la construction et l'ameublement des écoles primaires.*

M. Blondlot expose le résultat de ses études sur la capacité de polarisation voltaïque.

M. Lippmann rend compte des recherches qu'il a faites pour reconnaître s'il ne se produit pas quelque modification dans les propriétés optiques d'une surface métallique polarisée par un courant faible, alors qu'on n'observe aucun phénomène à la simple vue.

M. Marcel Deprez présente un interrupteur qui rompt le courant inducteur au moment précis où celui-ci atteint son intensité maxima.

M. Marcel Deprez présente également un exploseur à gros fils, dont le courant, qui a une intensité considérable, envoyé dans une bobine munie du nouveau trembleur, donne une étincelle qui peut aller jusqu'à $0^m,008$ et enflamme aisément du pétrole liquide.

Sur la capacité de polarisation voltaïque; par M. R. Blondlot.

Lorsqu'un voltamètre est mis en relation avec une pile de force électromotrice très faible (quelques centièmes de volt par exemple), le courant qui se produit alors s'affaiblit rapidement et devient sensiblement nul au bout d'un temps très court. Ce phénomène est dû, comme on sait, à la polarisation des électrodes : le passage de l'électricité dans le voltamètre communique à celui-ci une force électromotrice croissante opposée à celle de la pile, et, lorsqu'il y a égalité entre les deux forces électromotrices, le courant s'arrête. Ainsi, pour polariser un voltamètre de façon à lui donner une force électromotrice déterminée, il faut une certaine quantité d'électricité.

C'est cette quantité d'électricité que je me suis proposé de mesurer. La méthode à laquelle j'ai eu recours consiste dans l'étude détaillée du courant de faible durée qui se produit lorsqu'un vol-

Digitized by Google

tamètre est mis en relation avec une pile possédant une force électromotrice déterminée, très faible.

Le voltamètre, la pile et un galvanomètre astatique étant installés sur un même circuit, si ce circuit est fermé pendant un temps très court θ (0,05 de seconde environ dans nos expériences), le galvanomètre éprouvera une impulsion qui est la mesure de la quantité d'électricité ayant traversé le circuit pendant le temps de fermeture. Si, après avoir rétabli les choses dans l'état initial, nous recommençons l'expérience, en donnant à θ des valeurs croissant par degrés rapprochés, nous pourrons construire une courbe ayant pour abscisses les temps t et pour ordonnées les quantités q d'électricité ayant circulé dans tout l'appareil pendant ces temps.

On voit que le coefficient angulaire de la tangente en un point a pour valeur $\frac{dq}{dt}$, ou encore l'intensité du courant de charge au temps t.

Voici maintenant ce que l'expérience apprend sur la nature de la courbe : sa forme est toujours celle qui est représentée par la

Fig. 1.

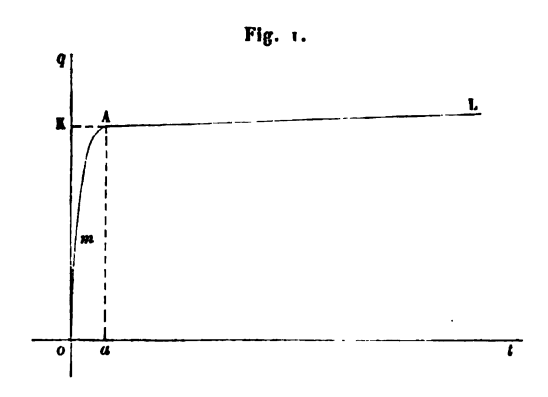


fig. 1, une portion courbe *om*A se raccordant avec une droite faiblement inclinée AL.

Ce résultat expérimental impose son interprétation : la portion où l'ordonnée croît rapidement correspond à la période de charge pendant laquelle la polarisation est variable ; la portion rectiligne correspond à la période d'équilibre, car la constance de l'écoulement électrique prouve que la polarisation n'augmente plus. Le

Digitized by Google

faible courant indiqué par l'inclinaison de la droite provient de ce que l'équilibre entre la pile et le voltamètre ne peut pas être atteint d'une façon absolue, par suite de la dissipation spontanée de la polarisation.

La courbe que vient de nous donner l'expérience fournit la mesure de la quantité d'électricité ou de la *charge* vraie nécessaire pour communiquer au voltamètre une force électromotrice égale à celle de la pile.

En effet, pour les petites forces électromotrices (au-dessous de $0^{volt},15$), l'inclinaison de la droite AL est négligeable; par conséquent, la dissipation de la polarisation est aussi négligeable, et la valeur finale de l'ordonnée représente *exactement la charge vraie*. Pour les forces électromotrices plus élevées, un raisonnement des plus simples fait voir que l'ordonnée à l'origine $\overline{oK}$ de la droite KL est plus petite que la charge vraie, et que l'ordonnée $\overline{aA}$ du point où commence la partie rectiligne de la courbe est plus grande que cette charge ; nous avons donc encore dans ce cas la *charge vraie avec une approximation suffisante*. Je compléterai l'exposé de notre méthode d'investigation en expliquant comment j'ai pu étudier séparément la polarisation de *chacune des électrodes;* j'ai employé pour cela l'artifice imaginé par M. Lippmann, pour la construction de son électromètre capillaire, et qui consiste à donner à l'une des électrodes, A, une surface extrêmement grande par rapport à celle de l'autre, B; dans ces conditions, la petite électrode B se polarise seule, attendu que la quantité d'électricité qui a suffi pour la charger ne polarise pas sensiblement la grande surface; A joue donc simplement le rôle d'un conducteur.

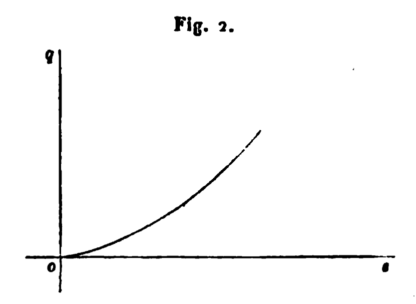
Je n'entrerai pas ici dans le détail de l'appareil et des expériences; je dirai seulement que la durée de la fermeture du circuit était réglée par un appareil à chute, dont un annexe fermait le voltamètre sur lui-même entre deux expériences. La source de force électromotrice était obtenue par dérivation du circuit d'un élément de Daniell.

J'arrive maintenant à l'exposé des résultats acquis jusqu'ici par l'application de la méthode. La première question qui se présentait était de savoir s'il y avait proportionnalité entre la charge et la force électromotrice de polarisation. L'expérience m'a montré qu'il n'existe en aucun cas de proportionnalité rigoureuse, mais

Digitized by Google

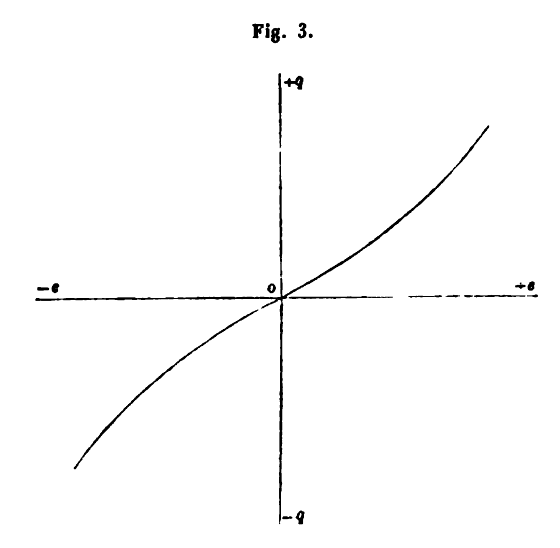
que celle-ci peut être admise comme approximation pour de faibles forces électromotrices. Pour des forces électromotrices plus élevées, la charge croît plus vite que la polarisation, de telle

Fig. 2.



sorte que, si l'on représente le phénomène par une courbe ayant pour abscisses les forces électromotrices e et pour ordonnées les charges vraies q, la courbe est convexe du côté de l'axe oe (*fig.* 2).

Fig. 3.



On est ainsi conduit à définir la capacité comme une fonction de e, représentant pour chaque valeur de e la quantité $\frac{dq}{de}$ (comme pour les chaleurs spécifiques); graphiquement, la capacité est représentée par le coefficient angulaire de la tangente à la courbe précédente.

Digitized by Google

Sans entrer aujourd'hui dans la discussion de la courbe, j'énoncerai une loi remarquablement simple, qui résulte de mes observations :

Loi. — *Pour une électrode donnée et un électrolyte donné, la capacité initiale ne dépend pas du sens de la polarisation.*

Cette loi se traduit graphiquement ainsi qu'il suit : si nous représentons par deux courbes les phénomènes de polarisation positive et négative, en tenant compte des signes de e et de q, ces deux courbes se raccordent à l'origine, ou plutôt forment une seule courbe continue (*fig.* 3). La polarisation est donc un phénomène *continu* pouvant modifier la différence électrique normale dans un sens ou dans l'autre.

Étude des propriétés optiques d'une lame de métal polarisée par un courant électrique; par M. G. Lippmann.

On sait qu'une lame de platine plongée dans de l'acide sulfurique étendu ou dans une dissolution de sulfate de cuivre acquiert, par le passage d'un courant, une force électromotrice dite *de polarisation.* Ce changement dans les propriétés électriques du platine entraîne-t-il un changement dans ses propriétés optiques? Le retard qu'un rayon de lumière acquiert par la réflexion sur le platine varie-t-il lorsque la surface subit la polarisation galvanique? Pour essayer de résoudre cette question, j'ai étudié optiquement la surface d'une électrode de platine ou d'argent, en ayant recours successivement aux propriétés de la lumière polarisée et à un phénomène d'interférence.

Un miroir de platine ou d'argent, plongeant soit dans de l'eau aiguisée d'acide sulfurique, soit dans une dissolution de sulfate de cuivre, pouvait être intercalé dans le circuit d'un élément Daniell. Un rayon de lumière polarisé par un nicol tombait sur ce miroir et était ensuite reçu dans un compensateur de quartz de M. Jamin, suivi d'un nicol analyseur. Le rayon lumineux entrait et sortait normalement aux parois de l'auge en glaces qui contenait le liquide. On observait la position de la frange noire dans le compensateur, puis on fermait le courant. Si la polarisation galvanique modifiait les

Digitized by Google

propriétés optiques de la surface de manière à faire varier la différence de phase entre les deux composantes principales du rayon lumineux incident, on devait voir la frange noire du compensateur se déplacer : il n'en fut rien ; la frange resta sensiblement immobile. Le résultat fut le même, que l'incidence fût de 45° ou rasante, que le liquide employé fût de l'acide sulfurique étendu ou du sulfate de cuivre, que la force électromotrice du courant polarisant fût celle d'un élément Daniell ou d'un élément Bunsen. Il résulte de cette expérience que la différence de phase des deux composantes de la lumière polarisée incidente ne change pas sensiblement par le fait de la polarisation galvanique.

Il restait à voir si le retard acquis par la réflexion ne variait pas d'une quantité appréciable, mais égale pour les deux composantes, et n'affectait pas leur différence de phase. A cet effet, j'ai eu recours au phénomène des anneaux de Newton. Une lame de verre fut appliquée contre la surface du platine, de façon à produire des anneaux larges de quelques millimètres. Ces anneaux furent observés sous des incidences variant de 10° à 25° environ, tantôt à la lumière naturelle, tantôt à la lumière monochromatique du sodium ; on les regardait à travers un microscope grossissant une trentaine de fois. L'expérience consistait à voir si, au moment où l'on fermerait le courant polarisant, les anneaux se déplaceraient : ils restèrent immobiles.

Il résulte de ces deux séries d'expériences que la polarisation galvanique, qui modifie si fortement, comme on sait, les propriétés capillaires d'une surface métallique, ne produit pas de variation sensible de ses constantes optiques. Si l'on croit devoir attribuer la polarisation galvanique à un dépôt chimique adhérent, il faut supposer que ce dépôt est tellement mince qu'il ne modifie pas sensiblement les propriétés optiques de la surface.

Dans quelques-unes de ces expériences, j'ai fait croître la force électromotrice polarisante jusqu'à produire des bulles d'hydrogène visibles dans le champ du microscope, et j'ai eu ainsi l'occasion de faire quelques observations accessoires sur la manière dont apparaissent les bulles gazeuses produites par électrolyse. Lorsque ces bulles se produisent dans l'appareil qui donne les anneaux de Newton et qu'on les observe à la lumière blanche, l'expérience est brillante. Les bulles sont, en effet, colorées en vertu du phénomène

Digitized by Google

des lames minces, et elles se détachent sur le fond, également coloré, fourni par la lame mince liquide comprise entre la lame de verre et le platine avec une couleur différente et un éclat plus vif; on les voit souvent se détacher en rose sur fond vert. Les petites bulles de gaz apparaissent successivement et brusquement en certains points de la lame de platine, points favorisés et qui restent toujours les mêmes. Les bulles déjà formées croissent sur place; puis il en naît en d'autres points du platine. Quand on renverse le sens du courant, les bulles gazeuses disparaissent dans l'ordre inverse de celui où elles ont apparu. Le dépôt gazeux présente, pendant qu'il se produit ou qu'il disparaît, les mêmes aspects successifs qu'une buée qui se condense ou qui s'évapore à la surface d'une lame polie. Les analogies qui viennent d'être signalées entre l'électrolyse et un changement d'état peuvent être complétées par une remarque que j'ai eu l'occasion de faire antérieurement : il y a un retard d'électrolyse comme il y a un retard d'ébullition, c'est-à-dire que, pour faire naître des bulles de gaz, il faut employer des forces électromotrices d'autant plus grandes que la surface sur laquelle on opère est plus petite; avec une très petite surface de mercure, le retard atteint jusqu'à $\frac{1}{2}$ daniell.

Sur un nouvel interrupteur destiné aux bobines d'induction;
par M. Marcel Deprez (1).

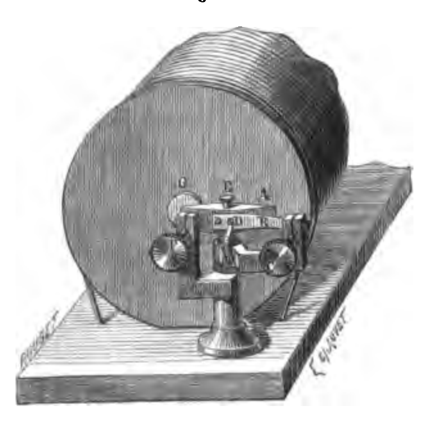
L'interrupteur universellement adopté sur les bobines d'induction a été emprunté aux sonneries électriques; il est trop connu pour que j'en donne la description. Par suite de circonstances qu'il est inutile de rapporter, je fus amené, il y a environ dix mois, à étudier de très près la manière dont il fonctionne, et je m'aperçus que cet organe rudimentaire présentait de nombreuses défectuosités, qui avaient pour résultat d'abaisser beaucoup le rendement des bobines auxquelles on l'applique; voici pourquoi. Lorsque le courant inducteur vient à être fermé, il n'acquiert pas instantanément toute son intensité. L'aimantation croissante de la masse qui constitue le faisceau de fils de fer développe en effet une

(1) La figure qui accompagne cet article est empruntée à la *Lumière électrique*.

Digitized by Google

force électromotrice inverse de celle de la pile, de sorte que, pendant un temps qui dépend de la puissance de la pile, de la résistance du circuit inducteur, du nombre de spires dont il entoure le faisceau de fils de fer et de la masse de ce dernier, l'intensité du courant passe par une série de valeurs successives qui constituent un véritable état variable. Enfin, au bout d'un temps très court, mais fini, l'intensité du courant acquiert sa valeur définitive, qui est donnée par la loi d'Ohm et qui ne dépend que de la force électromotrice de la pile et de la résistance du circuit. C'est évidemment au moment où cette période variable prend fin qu'il faut rompre le courant inducteur pour que le courant induit ait la plus grande intensité possible, car une fermeture plus prolongée du courant inducteur ne ferait qu'augmenter en pure perte la consommation de zinc de la pile, tout en diminuant le nombre des interruptions et, par suite, des courants induits produits dans l'unité de temps. Or, ce n'est pas du tout ce qui arrive avec l'interrupteur ordinaire. En raison de l'élasticité des pièces qui le composent, il accomplit des vibrations d'une grande amplitude, pendant les-

Fig. 1.



quelles les durées relatives de fermeture et de rupture du courant inducteur sont complètement arbitraires, ou du moins n'ont aucun rapport avec les valeurs qu'elles devraient avoir pour obtenir de la bobine le maximum de rendement. Ces considérations montrent qu'un bon interrupteur doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Rompre le courant dès que l'état variable a pris fin ;

Digitized by Google

2° Le rétablir dans le temps le plus court possible après la rupture, attendu que l'état variable de rupture a une durée beaucoup plus courte que l'état variable de fermeture.

Toutes ces conditions sont remplies dans l'interrupteur que je vais décrire, et qui est représenté par la *fig.* 1, tel qu'il est appliqué aux bobines sortant des ateliers de M. Carpentier.

A est une petite armature de fer doux, mobile autour d'une broche E très robuste, qui passe par son centre de figure. L'une de ses extrémités est située en regard du faisceau de fils de fer doux G et s'appuie contre une vis F garnie de platine à son extrémité. Le courant inducteur arrive par cette vis, traverse l'armature jusqu'en D, et continue son chemin en passant à la fois par le pivot E et par une petite lame de cuivre flexible pour se rendre à la bobine.

La force antagoniste est produite par un ressort R attaché en D à l'armature A, et dont on règle la tension avec la vis E.

Voici maintenant comment fonctionne cet interrupteur.

Dès que le courant est fermé, l'aimantation du faisceau passe, ainsi que cela a été dit plus haut, par toutes les valeurs comprises entre zéro et sa valeur maxima, qu'elle atteint dans un temps très court; il y a donc un moment où l'attraction exercée par le faisceau sur l'armature A fait équilibre à la tension du ressort, et le plus petit accroissement de cette attraction détermine un mouvement de l'armature et, par suite, une rupture immédiate du courant. L'armature, ainsi que les pièces contre lesquelles elle s'appuie, étant très rigide, il suffit que ce mouvement ait une amplitude extrêmement petite pour que le courant soit rompu. Mais, dès que la rupture a eu lieu, le ressort R rétablit le contact entre l'armature A et la vis F dans un temps excessivement court, puisque la distance entre ces deux pièces est inappréciable, et tout recommence de la même manière. Si l'on veut obtenir les effets les plus énergiques possibles, il faut donner au ressort R une tension suffisante pour paralyser complètement le mouvement de l'armature A, puis le détendre peu à peu jusqu'à ce qu'elle entre en vibration. On est certain alors que le courant inducteur n'est rompu que lorsque l'aimantation du faisceau a atteint sa valeur maxima.

On voit que cet interrupteur est un véritable rhéomètre, qui

Digitized by Google

maintient le courant fermé jusqu'au moment où son intensité passe par une valeur déterminée.

Cela est tellement vrai, que, si l'on donne au ressort une tension notablement inférieure à l'attraction maxima du faisceau de fer doux, on peut lancer dans la bobine des courants engendrés par des piles très puissantes, sans que l'étincelle de l'interrupteur cesse d'être à peine appréciable. C'est ainsi que j'ai pu actionner une bobine de tout petit modèle, destinée à donner des étincelles d'une longueur maxima de $0^m,010$, avec une pile de 10^{el} Bunsen plats, modèle Ruhmkorff, sans que l'interrupteur en souffrît aucunement. L'étincelle d'induction a, dans ce cas, un aspect complètement différent de celui qu'elle présente avec les bobines munies de l'interrupteur ordinaire. C'est un cordon lumineux rectiligne ou curviligne suivant la forme et la position des électrodes, entouré d'une gaîne jaune pâle et d'apparence absolument continue. On ne saurait mieux le comparer qu'à une veine liquide lumineuse.

SÉANCE DU 4 MARS 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bonvalet, ingénieur à Dijon ;
Chabert (Léon), ingénieur à Paris ;
Lartigue, directeur de la Société générale des téléphones, à Paris.

La Société a reçu de M. Gravier un Mémoire sur la distribution de l'électricité et un pli cacheté contenant de nouvelles recherches sur le même sujet; de M. Plateau, Membre honoraire de la Société, une série de Mémoires sur la vision.

M. Mercadier expose la suite de ses études sur les phénomènes thermophoniques.

Digitized by Google

M. le Dr Boudet de Paris présente un nouveau microphone à contacts multiples, formé d'une série de six boules de charbon, égales, enfermées dans un tube de verre. Ces boules sont placées entre deux masses métalliques, dont l'une appuie sur la membrane vibrante et l'autre sur un ressort. Cet appareil peut fonctionner avec des courants d'intensité très variables.

M. Boudet a construit également un autre microphone, extrêmement sensible, dont l'organe essentiel est un charbon oscillant réglé par un petit ressort de papier. Il a appliqué cet appareil à l'étude de la voix et à divers instruments physiologiques ou médicaux qu'il présente à la Société : sphygmophone, myophone, appareil explorateur du cœur, etc.

On peut obtenir une partie au moins des résultats que fournit le microphone, avec un appareil plus simple, formé d'un stéthoscope ordinaire, muni d'une plaque mince vibrante de caoutchouc durci, avec bouton explorateur, et dont le pavillon est remplacé par deux tuyaux de caoutchouc aboutissant aux oreilles.

Enfin, M. Boudet présente un audiphone multiplicateur fondé sur le même principe.

M. François-Franck donne quelques détails sur les procédés qu'il emploie pour obtenir des dessins devant servir à des projections.

M. François-Franck présente ensuite un thermographe de M. Marey, constitué par une ampoule de cuivre rouge, communiquant par un tuyau métallique fin avec un tube de Bourdon. L'ampoule joue le rôle de réservoir quand sa température varie, le liquide dont tout l'appareil est rempli se dilate et le tube, se déroulant ou s'enroulant, transmet ses mouvements à un levier qui les inscrit sur un papier enfumé.

M. François-Franck présente également un baromètre enregistreur de M. Tatin.

Sur la radiophonie; par M. E. Mercadier.

J'ai montré dans la séance du 3 décembre 1880 : 1° que les effets sonores résultant de l'action d'une radiation intermittente sur des lames minces d'un *corps solide*, et que M. G. Bell attribuait à une

Digitized by Google

transformation d'énergie lumineuse, étaient réellement le résultat d'une transformation d'énergie *thermique;* 2° que l'intensité de ces effets dépendait principalement *de la nature de la surface* du récepteur et qu'elle était singulièrement augmentée quand cette surface était recouverte de substances, telles que le noir de fumée, le noir de platine, le bitume de Judée, etc., qui absorbent beaucoup la chaleur rayonnante.

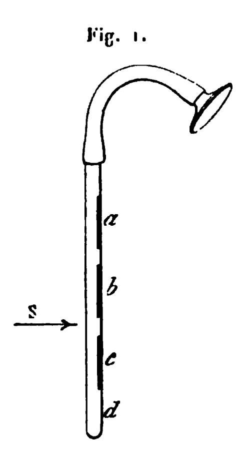
Il résultait de cette première étude que la *substance* où s'opérait la transformation était la couche de gaz adhérente à la surface des récepteurs. Mais il me restait : [I] à démontrer ce point plus nettement; [II] à en expliquer le *mécanisme,* [III] à faire d'une manière analogue l'étude des liquides et des gaz considérés comme récepteurs de radiations intermittentes.

Telles sont les nouvelles recherches dont je me propose d'indiquer ici les principaux résultats.

I. D'abord *la substance où se produit la vibration est bien la couche d'air en contact avec les parois des récepteurs.*

Pour le démontrer, j'ai changé la forme de mes récepteurs. Je les ai formés (*fig.* 1) d'un tube de verre T, bouché ou non à

Fig. 1.



une extrémité, communiquant par l'autre avec un petit cornet acoustique par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc aussi court que possible.

On peut alors faire tomber sur ces tubes le faisceau radiant S,

Digitized by Google

concentré ou non à l'aide d'un système optique avant son passage à travers les ouvertures de la raie interruptrice décrite précédemment. On peut d'ailleurs boucher l'extrémité inférieure du tube; on peut même fermer l'extrémité supérieure, où se trouve ajusté le tube en caoutchouc, avec une lame mince de verre ou de mica, ce qui ne fait qu'affaiblir un peu les sons produits, mais qui présente l'avantage de pouvoir *enfermer* dans le tube des liquides et des gaz ou des vapeurs.

On enfume la partie *intérieure* du haut du tube sur une moitié seulement, en *a*. Si alors on présente la partie inférieure *d* non enfumée à la radiation intermittente S, on n'entend, même avec la lumière oxyhydrique, que des sons assez faibles. Mais, si l'on présente à la radiation la partie enfumée *a*, de façon qu'elle traverse d'abord la portion transparente du tube, on entend des sons très intenses, la couche d'air adhérente au noir de fumée étant fortement échauffée par suite de l'absorption par cette substance de la chaleur rayonnante.

Au lieu d'enfumer l'intérieur du tube, ce qui présente quelques difficultés, on peut y introduire un demi-cylindre d'une substance à peu près *quelconque* enfumée, papier, mica, cuivre, zinc, platine, aluminium, etc. En les superposant dans le tube (*fig.* 1) en *c*, *b*, *a*, ..., on reconnaît qu'elles produisent des sons dont l'intensité, d'ailleurs considérable, varie très peu avec leur nature; elle croît jusqu'à une certaine limite avec l'épaisseur de la couche de noir de fumée déposée sur le verre. C'est donc principalement l'air condensé par le noir de fumée qui vibre.

Une autre preuve de ce fait résulte de ce que, si la couche enfumée est *extérieure* au tube, elle est sans influence sensible sur les effets produits.

On le démontre nettement à l'aide de l'expérience suivante.

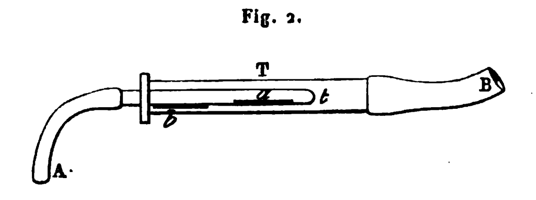
Un premier tube *t* bouché renferme *intérieurement* un demi-cylindre de mica enfumé *a*; *extérieurement* et le long des mêmes génératrices, en *b*, il est enfumé. Il communique avec un cornet acoustique A par un tube en caoutchouc, fixé, à l'aide d'un bouchon, à l'intérieur d'un tube plus large T aboutissant à un autre cornet B. Lorsqu'on expose la partie *a* aux radiations intermittentes, on entend des sons intenses en A et rien en B : c'est l'air intérieur de *t* qui vibre. Si l'on éclaire la partie *b*, on n'entend

Digitized by Google

rien en A et on entend en B : c'est l'air *extérieur* à *t* qui vibre.

Du reste, on peut dire que toute substance susceptible de condenser de l'air à sa surface produit des sons plus intenses que l'air seul : on le voit aisément en introduisant dans un tube des morceaux de fusain, de bois, de drap, de papier buvard, etc. On s'explique maintenant sans difficulté le rôle de ces substances.

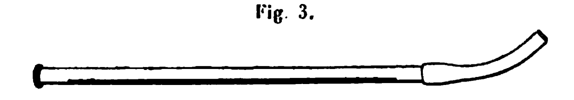
Fig. 2.



En m'appuyant sur ces propriétés, j'ai pu construire très simplement des récepteurs *thermosonores* très sensibles. Il m'a suffi de prendre des tubes à essais en verre mince, de $0^{m},05$ de longueur sur $0^{m},006$ ou $0^{m},007$ de diamètre, contenant une petite plaque de mica ou de clinquant de cuivre enfumé : ils produisent des sons perceptibles sans aucune difficulté sous l'influence des radiations les plus faibles au point de vue lumineux, comme celles du gaz, d'une lampe à huile, d'une bougie, d'une lampe à alcool, d'un morceau de bois ou de charbon rouge, d'une plaque de cuivre chauffée à 300°.

On peut même réduire beaucoup le diamètre de ces récepteurs sans diminuer beaucoup leur sensibilité. La *fig.* 3 représente en

Fig. 3.



vraie grandeur un appareil de ce genre, bouché à une extrémité avec un peu de cire à cacheter, et qui constitue ce qu'on pourrait appeler par analogie un *récepteur thermophonique linéaire*. Ce récepteur permet d'explorer un spectre comme avec une pile thermo-électrique linéaire.

A cet effet, j'interpose une fente de $0^{m},002$ de largeur entre les rayons dispersés par le prisme et la lentille cylindrique qui les concentre sur la roue interruptrice, ou même je supprime cette lentille. Dans des spectres de $0^{m},035$ à $0^{m},040$ de longueur obtenus

Digitized by Google

avec la lumière solaire, la lumière électrique et la lumière oxyhydrique, la partie active s'étend de l'orangé à l'infra-rouge, jusqu'à une distance de la limite du rouge visible égale au moins au quart de la longueur du spectre. Le maximum d'effet se produit dans l'infra-rouge.

Quand on se sert de la lumière oxyhydrique et de la lumière électrique, on obtient des effets sonores assez énergiques, car, en remplaçant le cornet acoustique par un cône renforçant en papier ou en métal, on peut entendre les sons de la lumière oxyhydrique à 1^m ou 2^m de distance, et ceux que produit la lumière électrique à 8^m ou 10^m, dans une salle où règne un silence complet.

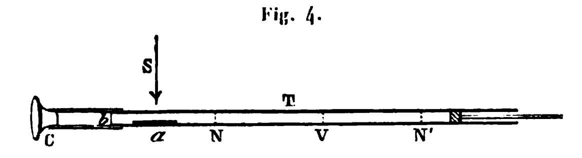
Il est à remarquer que *certains* sons seulement, parmi les sons de hauteur variable qui résultent de la variation de vitesse de la roue interruptrice, peuvent être ainsi renforcés. L'explication de cette particularité résultera nettement de ce qui suit.

II. On peut exprimer ainsi le *mécanisme* de la transformation thermophonique.

La couche d'air condensée sur les parois des récepteurs, surtout quand ils sont enfumés ou recouverts d'une substance très absorbante pour la chaleur, est alternativement échauffée et refroidie par les radiations intermittentes; il en résulte des dilatations et condensations périodiques et régulières, d'où un mouvement vibratoire communiqué aux couches gazeuses voisines, qui, d'ailleurs, peuvent vibrer directement sous la même influence.

La conséquence immédiate qui en résulte est que des récepteurs du genre de ceux qu'on vient de décrire, convenablement allongés, doivent constituer de véritables tuyaux *thermophoniques*, ou, si l'on

Fig. 4.



veut, *thermosonores*, mis en vibration par une radiation thermique intermittente. Pour le démontrer, on prend un long tube en verre T (*fig.* 4), dans lequel peut se mouvoir un piston P à l'aide d'une tige. A l'extrémité du tube on place, à l'intérieur, un morceau de

Digitized by Google

mica enfumé a : on laisse cette extrémité ouverte ou bien on la bouche avec une lame de verre ou de mica en b, et l'on y ajuste, par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc ou en métal, un cornet acoustique c.

On fait tomber en a le faisceau radiant intermittent S, on place le piston en a et on écoute en c. On entend un son comme dans les récepteurs beaucoup plus courts. On maintient constante la vitesse de la roue interruptrice, et par suite la hauteur du son produit. En retirant alors graduellement le piston, l'intensité du son éprouve des variations périodiques qui vont jusqu'à l'extinction en des points N, N', ..., avec des maxima en a, V, ... On obtient ainsi des nœuds et des ventres, absolument comme dans un tuyau sonore qui serait percé d'une ouverture dans le plan a, par laquelle arriverait un courant d'air.

Si l'on change la vitesse de la roue interruptrice, en la maintenant constante quand elle a atteint une nouvelle valeur, on reproduit la même expérience : la distance seule entre deux nœuds consécutifs N, N' change.

On a donc bien là un tuyau sonore susceptible de rendre tous les sons qu'on peut produire en changeant la vitesse de la roue interruptrice, c'est-à-dire la période d'intermittence de la radiation thermique, cause déterminante des vibrations.

Il en résulte la possibilité de répéter avec ces tuyaux les expériences de Dulong relatives à la mesure de la vitesse du son dans l'air et les gaz. Je me suis assuré sommairement de cette possibilité à l'aide d'un appareil grossièrement constitué, et je pense que des déterminations de ce genre pourront présenter une assez grande exactitude : 1° à cause de la facilité d'enfermer dans ces tuyaux des gaz à une pression et à une température constantes, puisque ce n'est pas le courant de gaz lui-même qui produit l'ébranlement; 2° parce qu'il n'y a pas à l'orifice les perturbations qui existent dans les tuyaux ordinaires. Je construis un appareil pour effectuer ces déterminations.

D'autre part, connaissant la longueur d'onde d'un son donné dans l'air, on peut déterminer les longueurs de tuyaux de raccordement les plus convenables pour qu'en reliant entre eux plusieurs tubes récepteurs semblables à ceux qu'on vient de décrire on puisse, en les exposant *simultanément* à l'action de plusieurs

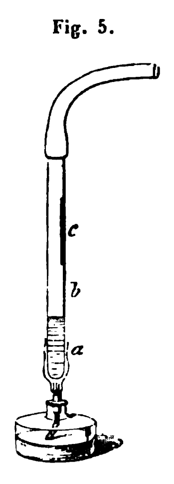
Digitized by Google

sources radiantes identiques, renforcer les effets produits. On peut former ainsi des sortes de *piles thermophoniques* avec des éléments disposés *en surface* ou *en série*. Je reviendrai plus tard sur ces dispositions.

III. Il restait à étudier au point de vue radiophonique les gaz autres que l'air, les vapeurs et les liquides.

Cette étude est facile à l'aide des tubes récepteurs en verre. D'abord, en versant une couche de quelques centimètres d'eau au fond d'un de ces tubes (*fig.* 5) et en introduisant à la partie supérieure

Fig. 5.



un demi-cylindre de mica enfumé, on peut exposer aux radiations intermittentes successivement le liquide et l'air chargé de vapeur d'eau au-dessous et en face de la partie enfumée.

On constate ainsi que les radiations traversant l'eau en *a* ne produisent pas d'effet sonore sensible, qu'en traversant l'air humide immédiatement au-dessus de l'eau et dans la partie transparente *b* du tube les effets sonores sont très faibles, mais deviennent d'autant plus intenses que l'air est plus saturé de vapeur d'eau, ce qu'on obtient en chauffant le liquide avec une lampe à alcool. Enfin, en traversant l'air humide de la partie supérieure du tube *c*, où se trouve un demi-cylindre de clinquant enfumé, les radiations produisent les mêmes effets, mais avec une intensité beaucoup plus grande.

Digitized by Google

J'ai obtenu les mêmes résultats avec l'éther sulfurique et l'ammoniaque.

J'en étais là de ces recherches quand j'appris que M. Tyndall avait fait l'étude complète des gaz et des vapeurs à ce point de vue. Personne n'était plus en état de les exécuter que le savant physicien à qui nous devons de si beaux travaux sur l'absorption de la chaleur rayonnante par les gaz et les vapeurs. M. Tyndall a constaté principalement que les effets sonores produits par les gaz et les vapeurs enfermés dans des ballons en verre étaient *d'autant plus intenses que ces substances absorbaient mieux les radiations calorifiques,* et il est parvenu, comme je l'avais fait moi-même, à produire ces effets avec des radiations calorifiques *obscures*. Après ces recherches très complètes, je crois qu'on peut considérer comme élucidée la question de la transformation d'énergie radiante en énergie sonore dans le cas des récepteurs considérés.

J'ajouterai seulement, comme dernière remarque, qu'on obtient ici des effets relativement très intenses et par des moyens en apparence bien disproportionnés. Ainsi, par exemple, avec la roue interruptrice dont je me sers, et à laquelle j'ai pu donner 30 tours par seconde, on peut obtenir des sons correspondant à 2400 vibrations doubles par seconde, et il en résulte, en tenant compte des parties pleines de la roue, égales en largeur aux parties transparentes, que chaque effet thermique ne dure qu'environ $0^s,0002$: nouvelle preuve de la puissance qu'on peut obtenir avec une cause extrêmement petite, mais qui agit *périodiquement* avec une grande rapidité.

Procédés pour exécuter les figures destinées aux démonstrations à l'aide des projections; par M. François-Franck.

M. François-Franck expose à la Société les procédés qu'il emploie pour obtenir rapidement et à peu de frais les dessins transparents se prêtant facilement aux projections.

L'un de ces procédés, déjà connu, consiste à tracer le dessin au crayon sur un verre dépoli et à le fixer au moyen d'un vernis à la térébenthine. Les dessins obtenus par ce procédé sont très purs

Digitized by Google

et peuvent recevoir des colorations variées au moyen de couleurs transparentes d'aniline, additionnées de gomme arabique.

Le second procédé consiste à calquer, avec une pointe fine comme une aiguille courte et solidement emmanchée, sur une feuille de gélatine, le dessin ou le schéma préalablement tracé sur papier : c'est le moyen qu'emploient les graveurs sur bois pour transporter les courbes et autres traits qu'on leur donne à graver. On obtient ainsi, sur une feuille translucide, une légère gravure dont les traits sont rendus opaques en promenant à la surface de la feuille une poudre sèche, noire ou rouge comme la *sanguine* des graveurs. C'est notre habile graveur, M. Pérot, qui a indiqué ce procédé à M. François-Franck. La gélatine, qu'on trouve dans le commerce en feuilles aussi fines qu'il est désirable, reçoit très bien les couleurs transparentes, mais il faut avoir soin de ne les appliquer qu'en couches très fines pour ne pas gonfler et rider la feuille. Quand le dessin est obtenu, colorié ou non, pour s'en servir en projection, il faut enfermer la feuille de gélatine entre deux plaques de verre mince dont on réunit les bords avec quelques bandelettes de papier gommé, ou avec de simples étiquettes encollées d'avance, toutes choses qu'on a facilement sous la main. En intercalant ainsi la gélatine entre deux plaques de verre, non seulement on facilite son introduction dans le cadre et on la maintient bien tendue, mais encore on la préserve suffisamment contre un échauffement trop rapide.

Un troisième moyen d'obtenir des figures avec rapidité consiste à dessiner, sur une plaque de verre enfumé à la flamme d'une bougie, et à fixer le noir de fumée avec le vernis photographique ordinaire étendu d'alcool (vernis sœhné).

Les dessins sur verre enfumé sont toujours très imparfaits, mais ils suffisent et au delà aux besoins des démonstrations. Pour les schémas, par exemple, M. François-Franck les préfère à tous les autres. Un trait blanc sur fond noir se détache très nettement sur l'écran et présente l'avantage d'être perçu de très loin. On ne doit pas craindre de donner à ce trait de grandes dimensions; aussi, quand on a construit son dessin en quelques coups de pointe fine, gagne-t-on à élargir le trait avec un instrument plus large, une plume à écrire *la ronde,* par exemple. L'un des meilleurs moyens de faire un schéma bien net consiste à le dessiner en appli-

Digitized by Google

quant la plaque enfumée sur le carreau d'une fenêtre, on voit alors facilement les limites de la ligne qu'on trace, et on peut dessiner plus librement que si on appliquait la plaque sur une feuille de papier blanc. Quand on a terminé le dessin, on peut écrire une légende, mettre des lettres en différents points de la figure, etc.; bref, on a toutes facilités pour faire en quelques minutes une figure très complète. Rien n'empêche, quand elle a été fixée au vernis, d'y ajouter des couleurs transparentes, et même cette addition de couleurs se fait ici beaucoup plus facilement que sur le verre dépoli ou sur la gélatine, parce que, s'il y a des bavures, elles passent inaperçues à la projection, car elles se perdent sur le fond noir qui limite la partie coloriée.

Inscription des courbes dans la lanterne à projection; par M. François-Franck.

A la suite de cette première démonstration, M. François-Franck montre des tracés obtenus dans la lanterne à projection avec un appareil enregistreur. Il a choisi, pour montrer un graphique s'inscrivant dans la lanterne, un appareil nouvellement construit sur les indications de M. Marey, le *thermographe*, dont le modèle définitif n'est pas encore fixé et dont la description détaillée sera insérée plus tard dans le *Bulletin de la Société française de Physique*. Le point sur lequel M. François-Franck veut seulement attirer l'attention est le suivant :

On peut, sans dispositif spécial, montrer à un auditoire des courbes s'inscrivant sur une plaque enfumée placée dans le cadre de la lanterne. Il suffit pour cela de placer au devant de la lanterne et au-dessous du cône à projection l'un de ces chariots *automoteur* dont on se sert dans tous les laboratoires de Physiologie pour déplacer les plumes inscrivantes au devant des cylindres enregistreurs. Ces appareils ont été construits, soit par M. Bréguet, soit par M. Verdin, sur les indications de M. Marey. Ils consistent essentiellement en une vis mue par un petit mouvement d'horlogerie, réglé lui-même au moyen d'un volant à ailettes. Dans sa rotation, la vis entraîne un chariot qui porte une tige verticale : c'est sur

Digitized by Google

cette tige qu'on fixe l'appareil enregistreur dont la plume chemine au-devant de la plaque de verre enfumée qui a été placée dans le cadre de la lanterne. A mesure que la pointe écrit sur le verre en déplaçant le noir de fumée, une courbe lumineuse se projette sur l'écran et le tracé s'écrit ainsi sous les yeux des assistants.

Cette méthode a été employée depuis longtemps par M. Marey, qui a même fait construire un appareil spécial (le polygraphe à projection) adapté à la lanterne Duboscq; mais ceux qui n'ont pas cet appareil à leur disposition peuvent se servir du chariot qui se trouve dans tous les laboratoires et auquel on peut donner des vitesses très variées.

Baromètre anéroïde enregistreur; par M. V. Tatin.

Le nouveau baromètre enregistreur est un instrument que nous croyons appelé à rendre de grands services, grâce à son volume restreint, sa précision et la modicité de son prix. Il se compose d'un chapelet de vases barométriques de Vidie disposés horizontalement et ne communiquant pas entre eux. Leurs courses respectives s'additionnent et permettent d'avoir à l'une des extrémités du chapelet un déplacement assez important, qui est utilisé pour faire mouvoir sans trop d'amplifications les organes qui commandent le style inscripteur. Ceux-ci se composent d'un levier vertical articulé à l'extrémité libre et mobile du chapelet de vases; vers sa partie supérieure un fil de soie est fixé sur un coulant de réglage permettant de faire varier le rapport des deux bras du levier; ce fil revient au-dessus des vases et s'enroule sur une poulie dont le diamètre est tel qu'elle puisse faire un tour pour une variation de pression de 72^{cm} à 80^{cm} de mercure; sur le même arbre est calée une seconde poulie sur laquelle s'enroule le fil qui supporte le style, lequel se meut verticalement au devant de l'ensemble; en variant le rapport des diamètres des poulies on obtient une course du style d'une étendue convenable. Immédiatement derrière le style et en contact avec sa pointe se trouve un petit rouleau vertical mû par un mouvement d'horlogerie. On place sur ce rouleau une carte préalablement divisée horizontalement en centimètres de mercure et ver-

Digitized by Google

ticalement en vingt-quatre heures. L'entraînement est assuré par deux petits galets qui pressent constamment la carte sur le cylindre tournant; ce système a l'avantage de supprimer le collage souvent difficultueux d'une feuille autour d'un cylindre et permet de se rendre compte, du premier coup d'œil, des variations de la courbe obtenue. Les dimensions de la carte sont telles qu'on puisse se servir d'une carte postale et ainsi expédier chaque jour les observations d'un point à un autre. Avec une modification des rapports dont il est parlé plus haut, on voit que cet instrument peut servir dans les ascensions de montagnes et dans les explorations aérostatiques de l'atmosphère; dans ces cas on aurait sur la carte un véritable diagramme de l'ascension. Dans ces appareils, nous avons remplacé le crayon ordinaire par une encre à la glycérine que nous employons depuis plusieurs années dans nos enregistreurs divers et qui nous a toujours donné de bons résultats ; on obtient ainsi un trait indélébile.

Enfin, quant à la précision, nous avons pu constater qu'un de ces appareils, construit il y a un an, n'a cessé de concorder avec la colonne de mercure et que d'autres, construits ensuite et dont plusieurs sont encore en observation aujourd'hui, fonctionnent d'une façon tout aussi satisfaisante.

SÉANCE DU 18 MARS 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mars est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Maisonobe, lieutenant du génie à Avignon.

M. Javal présente l'ophthalmomètre qu'il a construit en collaboration avec M. Schiötz.

M. de Baillehache décrit son télégraphe-imprimeur à cadran. Le manipulateur est un inverseur; le sens du courant change à

Digitized by Google

chaque lettre qui passe. Les lettres défilent en même temps sur le récepteur, et une rive des types fixée à l'aiguille présente toujours en bas la lettre sur laquelle est l'aiguille. Au moment de la cessation du courant, un déclanchement se produit et l'impression a lieu. La bande de toile sur laquelle se fait l'impression avance de l'intervalle d'une lettre quand on établit le courant.

M. Cornu communique à la Société les résultats de ses recherches photométriques. M. Cornu indique que l'on peut mesurer des sources très petites en cherchant à faire disparaître l'image, en la noyant dans un champ lumineux ; l'extinction a lieu quand le champ est 40 fois plus intense.

M. Javal rappelle qu'il a donné des procédés photométriques pour l'étude de la lumière diffuse, en s'appuyant sur l'extinction de points lumineux fournis par un diaphragme percé de trous très petits. Il fait remarquer que l'ordre d'apparition des étoiles dans le ciel donne la mesure de leurs éclats.

Études photométriques; par M. A. Cornu.

Ayant été amené, dans différentes recherches, à étudier des dispositions simples pour la mesure des intensités lumineuses, j'ai obtenu divers appareils photométriques et spectrophotométriques qui me paraissent devoir rendre des services dans plusieurs branches de la Physique et de l'Astronomie.

Ces appareils sont fondés sur une propriété des lentilles découverte et utilisée par Bouguer, à savoir que l'image focale est, comme forme, indépendante de la grandeur et de la forme de l'ouverture de la lentille, et, comme intensité, proportionnelle à la surface de cette ouverture.

Première forme d'appareil : comparaison de l'éclat intrinsèque d'images réelles reçues sur un écran blanc. — L'appareil se compose de deux objectifs achromatiques, aussi identiques que possible, dont les axes optiques principaux se croisent au double environ de leur distance focale commune; chacun d'eux produit sur un écran blanc l'image d'un petit diaphragme rectangulaire placé sensible-

Digitized by Google

ment au foyer conjugué de l'écran; derrière chacun de ces petits diaphragmes, on place respectivement les deux sources de lumière, ou mieux la partie des sources de lumière dont on veut comparer l'éclat. On amène l'égalité des éclairements des deux images en faisant varier la surface de l'un des objectifs; à cet effet, chaque objectif est couvert par deux plaques métalliques glissant l'une sur l'autre par l'effet d'un pignon commun à deux crémaillères C, C' (*fig.* 1), portant chacune une ouverture carrée AB, A'B'. Dans une de leurs positions relatives extrêmes, les deux carrés sont en coïncidence et une ouverture carrée maximum livre passage à la lumière; dans l'autre position extrême, l'ouverture de l'une des plaques est cachée par la partie pleine de l'autre, de sorte qu'aucune lumière ne peut passer; dans les positions intermédiaires, les ouvertures se correspondent partiellement, et, comme elles sont taillées de façon que le mouvement relatif ait lieu suivant une diagonale, l'ouverture libre a toujours la forme carrée, quelle que soit sa dimension. De plus, comme le pignon est fixe, par la rotation du pignon, l'une des plaques s'élève autant que l'autre s'abaisse; il en résulte que le centre du carré variable reste fixe devant le centre optique de la lentille. C'est le dispositif connu sous le nom d'*œil de chat*, dont l'invention est généralement attribuée à S' Gravesande ([1]).

Fig. 1.

Pour faire une mesure de comparaison de deux lumières, on approche les sources aussi près que possible des petits diaphragmes rectangulaires et on règle leur position par deux conditions :

1° Leur image sur l'écran doit être aussi nette que possible ; à cet effet, on les avance ou on les recule d'une quantité convenable.

2° Les bords opposés des deux images doivent être en coïnci-

([1]) Bouguer, en raison de la coloration des verres dont il faisait usage, avait donné aux diaphragmes la forme de secteurs : les épaisseurs variables de l'objectif entraient ainsi toujours dans la même proportion (*Traité d'Optique*, p. 37; 1760).

Digitized by Google

dence aussi parfaite que possible, afin que la ligne de séparation des deux champs devienne invisible lors de l'égalité des éclats.

En second lieu, on choisit les points des sources lumineuses qu'on veut comparer et on amène leur image respectivement sur les deux bords dont l'image est commune sur l'écran.

Tout étant bien réglé, on ouvre au maximum le diaphragme carré de l'objectif correspondant à la source d'éclat minimum, et l'on amène l'égalité des deux éclairements le long du bord commun en manœuvrant la crémaillère de l'autre objectif : l'égalité est atteinte lorsque la ligne de séparation semble disparaître. Les ouvertures présentant un côté gradué ou une échelle convenable CC′ (*fig.* 1), on calcule les éclats intrinsèques relatifs en prenant les inverses des carrés des graduations.

On peut varier indéfiniment la même mesure en diminuant un peu le diaphragme de la source d'éclat minimum et cherchant à retrouver l'égalité : on obtient ainsi un nouveau couple de lectures dont le carré du rapport donne l'inverse du rapport des éclats, et ainsi de suite.

On a même en général, lorsque les sources sont très intenses, intérêt à diminuer l'ouverture des deux objectifs pour diminuer l'éclairement de l'écran : on juge ainsi beaucoup mieux l'égalité des deux champs lumineux.

Il peut arriver que les deux sources n'aient pas la même couleur; la comparaison des éclats n'a plus alors de sens précis. On rétablit la signification précise en examinant les deux images de l'écran avec un verre coloré de la couleur qui paraît le plus en rapport avec l'usage qu'on doit faire de ces sources. Pour éliminer l'influence des petites dissemblances des deux appareils, on les substitue l'un à l'autre, ce qui est facile, grâce à leur construction : en effet, chaque appareil est fixé sur la base d'un large tube cylindrique mobile à frottement sur un cylindre intérieur fixe. Cette disposition permet en outre d'incliner l'axe principal de l'objectif, de l'élever ou de l'abaisser à volonté.

Comme exemple instructif d'observation, on peut citer la comparaison de l'éclat intrinsèque du milieu de la flamme d'une lampe à pétrole à mèche plate avec celui de la même flamme vue de tranche : on trouve que l'éclat de la flamme vue de tranche est plus de dix fois supérieur à l'éclat du milieu de la flamme vue de face.

Digitized by Google

Pour effectuer cette comparaison, on prend une source auxiliaire (comme une lampe modérateur à double courant d'air, à verre cylindrique) et on choisit comme point de comparaison une partie de la flamme qui paraisse bien homogène, en particulier le bord de la flamme, qui possède un éclat vif et constant.

On dispose de l'autre côté la lampe à pétrole sur un support tournant autour d'une verticale passant par l'axe de la mèche, de sorte qu'une rotation de 90° place la flamme alternativement de face et de tranche. On compare ainsi l'éclat de chacun des deux aspects de la flamme à celui d'une source auxiliaire : si l'on a soin de laisser constante l'ouverture de l'objectif correspondant à cette source, le rapport cherché est égal à l'inverse des carrés des lectures sur l'autre objectif. La méthode de la source auxiliaire est évidemment générale et préférable à celle qui a été décrite plus haut, car elle élimine les inégalités de construction des diaphragmes ou de transparence des objectifs; c'est celle que j'ai adoptée dans les dispositifs perfectionnés qui vont suivre.

Deuxième forme d'appareil : suppression de l'écran blanc; microphotomètre. — Le dispositif ci-dessus permet, en remplaçant l'écran opaque et blanc par une feuille de papier huilé, un verre douci, etc., d'observer en arrière les deux images contiguës avec une loupe, ce qui rend l'observation plus commode et plus précise. On peut même supprimer cet écran et observer les images aériennes, qui sont infiniment plus fines et plus vives; mais, les axes principaux des deux lentilles formant un angle d'une quinzaine de degrés, les deux images réelles ne peuvent pas être vues simultanément dans la même position de l'œil, puisque les deux anneaux oculaires (images conjuguées des objectifs) sont séparés. La comparaison devient donc difficile ; elle ne peut redevenir précise que si l'on amène en coïncidence les axes optiques des deux objectifs. Pour y parvenir, j'ai employé d'abord le moyen bien connu qui consiste à interposer une glace sans tain à 45°, qui laisse passer par transmission le faisceau d'un des objectifs et qui amène par réflexion le faisceau provenant de l'autre objectif. Par un réglage convenable, on arrive facilement à obtenir les deux images réelles dans un même plan focal, qu'on observe avec un oculaire ou un microscope à faible grossissement. L'inégale proportion de lumière réfléchie et réfractée

Digitized by Google

ne permet pas, dans ce cas, de comparer directement les deux sources; l'une d'elles sert de source auxiliaire ([1]). L'emploi de cette glace sans tain offre deux particularités qui peuvent dans certains cas présenter des inconvénients : elle polarise partiellement les deux faisceaux, l'un par réflexion, l'autre par réfraction ; si donc les lumières à comparer sont elles-mêmes partiellement polarisées dans des plans non déterminés, les rapports des intensités sont altérés dans des rapports qu'il serait possible de déterminer, au prix de diverses opérations accessoires qui compliqueraient la méthode.

La seconde particularité est l'influence des deux surfaces de la glace sans tain, qui donnent chacune une image réfléchie de la source auxiliaire : on a donc ainsi deux images dans des plans focaux légèrement différents. On peut se débarrasser de l'une d'elles en prenant une glace assez épaisse ou en donnant une très légère inclinaison aux deux faces; on n'est arrêté que par l'irisation de l'image transmise.

En revanche, cette disposition se prête à une méthode photométrique applicable à divers phénomènes physiques et astronomiques (éclat relatif des diverses régions du spectre, photométrie stellaire, etc.) qui s'accommoderaient mal de la méthode précédente. Elle consiste à *noyer* l'image transmise dans l'éclat de l'image réfléchie (supposée large et uniforme), jusqu'à ce qu'elle disparaisse. L'influence des deux surfaces de la glace sans tain n'a plus d'inconvénient ; on peut alors prendre une lame mince de verre à microscope ; les deux images coïncident presque et donnent une intensité sensiblement double à la lumière réfléchie ([2]).

([1]) Si l'on avait quelque intérêt à connaître le rapport des intensités des sources I_1, I_2 et le rapport k des intensités transmises par réflexion et réfraction, on ferait deux observations croisées en intervertissant les sources et mesurant les rapports apparents m et n dans les deux cas :

$$\frac{kI_1}{I_2} = m, \quad \frac{kI_2}{I_1} = n,$$

d'où

$$k^2 = mn \quad \text{et} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{m}{n}.$$

([2]) En faisant l'opération inverse, c'est-à-dire en noyant l'image réfléchie dans

Digitized by Google

Dans le photomètre définitif (*fig.* 3), j'ai adopté la disposition que voici. La glace sans tain est remplacée par une glace de verre noir AA′, terminée par une arête rectiligne A normale au plan des axes principaux des objectifs. Les plans focaux AF_1 et AF_2 sont réglés de manière à passer rigoureusement par cette arête. Un microscope à faible grossissement (25 à 50 diamètres environ) permet donc de

---

l'éclat de l'image transmise, on obtient une relation qui donne le rapport des intensités des deux lumières au moment où l'une efface l'autre.

En effet, soient I_1 l'éclat intrinsèque de l'image transmise supposée fixe, I_2 celui de l'image de la source auxiliaire qu'on rend variable par la manœuvre du photomètre et k le rapport cherché dans la première opération; soit S la surface libre de l'objectif du photomètre; on a

$$kSI_2 = I_1.$$

Dans la seconde on affaiblit I_2 en donnant à la surface libre de l'objectif la valeur S′ :

$$kI_1 = S'I_2$$

d'où

$$k^2 = \frac{S'}{S}.$$

Il suffit, pour cela, de prendre deux sources lumineuses assez larges pour donner des champs uniformes; on introduit alternativement dans le plan focal de chacune d'elles un petit diaphragme DD′, successivement dans les positions $D_1D'_1$ et $D_2D'_2$ (*fig.* 2), qui limite à une petite surface éclairée l'image de l'une des sources; on éteint cette petite image par l'augmentation relative de l'éclat de l'autre ou par la diminution de son éclat.

Fig. 2.

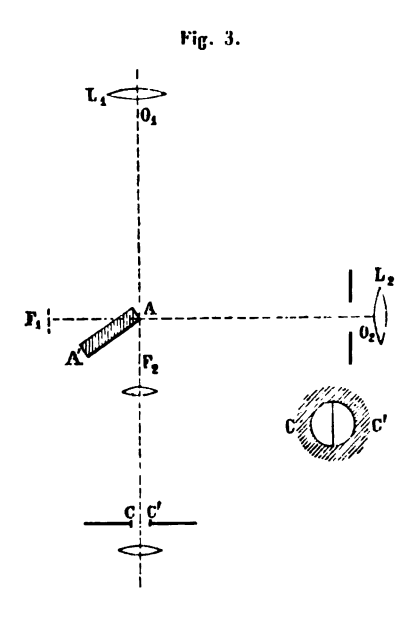
On trouve avec la lumière blanche que, lorsque le champ est environ quarante fois plus intense que la petite image à bords nets, cette image disparaît.

L'application de cette méthode aux diverses couleurs du spectre et à leur comparaison mutuelle mériterait, je crois, une étude spéciale.

Digitized by Google

voir simultanément, de part et d'autre de l'arête rectiligne, les deux images des deux sources. En réglant convenablement la position des sources, on arrive à amener en contact avec l'arête les deux plages à comparer. Pour rendre la comparaison encore plus précise, on isole les deux plages à l'aide d'un diaphragme circulaire CC', introduit dans le plan focal de l'oculaire du microscope. Le champ visible consiste alors en un petit cercle séparé en deux moitiés

Fig. 3.



égales par la ligne presque invisible formée par l'arête [1]; l'une des moitiés présente une intensité fixe, l'autre une intensité variable à l'aide de l'écran photométrique : ce sont les meilleures conditions pour obtenir l'égalité des deux intensités. Dans ces circonstances, et surtout si l'on a soin d'atténuer les intensités jusqu'à une certaine limite, l'œil acquiert une si grande sensibilité, que les moindres différences de composition des lumières se traduisent par une différence de teinte qui devient gênante dans l'appréciation de l'égalité;

---

[1] On obtient à coup sûr une arête absolument parfaite, même sous des grossissements considérables, en coupant au diamant une lame à faces parallèles et en utilisant le bord opposé au trait de diamant; on noircit avec un vernis noir la face non utilisée et la tranche de la lame.

Digitized by Google

il n'y a que les sources rigoureusement identiques ou monochromatiques qui donnent une impression d'égalité absolument satisfaisante.

Les plages à comparer peuvent être extrêmement petites; si les images focales sont bien pures et obtenues à l'aide d'objectifs achromatiques, le microscope qui sert d'oculaire peut les amplifier dans de grandes proportions : l'appareil est alors susceptible de mesurer l'éclat d'images extrêmement petites : de là le nom de *microphotomètre* que je propose de donner à cet instrument.

Ce genre de photomètre permet de mesurer non seulement l'éclat intrinsèque de l'image focale qui se peint dans le plan AF_1, il permet aussi de mesurer, lorsqu'on enlève l'objectif L_1, l'éclairement produit par une source quelconque dans le même plan AF_1. En un mot, on peut mesurer l'intensité d'une onde lumineuse tangente au plan passant par l'arête A et la droite AF_1.

J'ai profité de cette propriété pour vérifier l'exactitude des indications du photomètre, en admettant la loi de l'inverse du carré de la distance, qui paraît à l'abri de toute objection. Une source de lumière constante a été placée à des distances variables D. L'intensité I de l'éclairement produit dans le plan focal a été mesurée par la variation de l'ouverture du photomètre; cette intensité est mesurée par le carré de la diagonale δ de l'ouverture. On doit donc avoir

$$I = h\delta^2 \quad \text{et} \quad I = \frac{k}{D^2},$$

d'où

$$D^2\delta^2 = \text{const.}, \quad D\delta = \text{const.}$$

Le produit de la distance D de la source au plan AF_1, multipliée par la lecture δ du photomètre, doit donc être constante. Voici deux séries qui vérifient cette relation :

	I.		II.	
Distance D.	Lecture δ.	Produit $D\delta$.	Lecture δ.	Produit $D\delta$.
m				
0,346...........	11,74	4,062	13,14	4,546
0,846...........	4,92	4,162	5,52	4,670
1,346...........	3,10	4,173	3,45	4,644
1,846...........	2,26	4,173	2,52	4,652
2,346...........	1,73	4,059	1,98	4,645

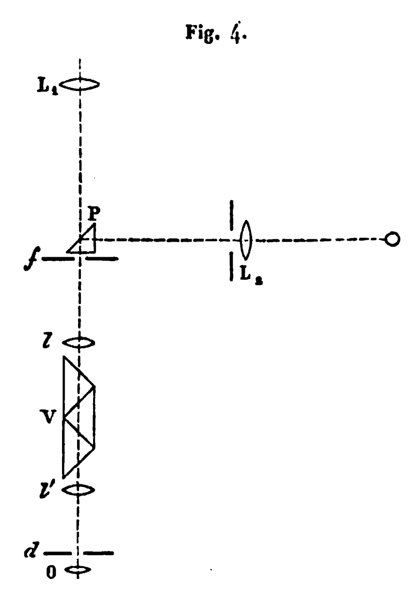
Digitized by Google

J'estime que l'erreur moyenne, dans les circonstances favorables d'intensité et d'égalité de teinte, ne dépasse pas $\pm \frac{1}{200}$.

Remarque. — L'appareil photométrique ne répond à sa propriété fondamentale que si la pupille reçoit *toute* la lumière qui a passé par l'ouverture des lentilles ou qui provient de la source; il importe donc de vérifier par l'observation de l'*anneau oculaire* du microscope (à l'aide d'une loupe additionnelle, rappelant le dynamomètre de Ramsden): 1° que l'ouverture carrée minimum du photomètre L_2 est entièrement visible dans l'anneau oculaire; 2° que l'ouverture de l'objectif L_1, ou bien l'image de la source, est aussi entièrement visible et bien concentrique à l'image de l'ouverture carrée.

Troisième forme d'appareil : spectrophotomètre. — Les dis-

Fig. 4.



positions précédentes s'appliquent immédiatement à la comparaison de l'intensité des diverses couleurs du spectre : il suffit pour cela de faire tomber dans le plan de la fente d'un spectroscope l'image focale, produite par l'objectif L_1, de l'objet lumineux qu'on étudie et l'image focale, produite par l'objectif L_2, de la source auxiliaire. Cette seconde image est amenée par réflexion totale sur

Digitized by Google

l'hypoténuse d'un prisme aussi petit que possible, dont les arêtes sont parallèles à la fente; c'est le dispositif de tous les spectroscopes. La moitié supérieure de la fente est ainsi éclairée par l'image de l'objet étudié, la moitié inférieure par celle de la source auxiliaire. On obtient ainsi deux spectres superposés séparés par une ligne noire qui n'est autre que l'ombre de la base, vue de tranche, du prisme hypoténuse: cette ligne peut être rendue très fine et presque invisible si l'on use avec soin la surface du prisme (choisi aussi petit que possible) bien normalement aux arêtes: l'astigmatisme inévitable des faces du prisme favorise d'ailleurs le réglage simultané des raies spectrales et de l'image de cette ligne noire.

Pour rendre la comparaison plus facile, un diaphragme d, percé d'une fente convenable, placé dans le plan focal de l'oculaire O, permet d'isoler une petite région des deux spectres correspondant aux couleurs à comparer (1).

Si le diaphragme est mobile sur une graduation, chaque position pourra définir une longueur d'onde moyenne, à l'aide d'une comparaison préliminaire faite avec les raies de la lumière du Soleil.

Mesure du rayon de courbure de la cornée; par M. Javal.

Petit est un des premiers observateurs qui aient fait des mensurations de l'œil humain dans un but scientifique. Malgré l'imperfection des moyens dont on disposait au commencement du siècle dernier, il a obtenu des résultats qui sont à peu près d'accord avec ceux fournis depuis par les méthodes les plus exactes. Il se servait des yeux de l'homme et de ceux de quelques espèces d'animaux, énucléés avec soin et ensuite congelés. Avant lui, on n'em-

(1) Les réfractions du prisme à vision directe polarisent d'une manière sensible la lumière transmise; si donc la source à étudier était polarisée, il faudrait déterminer la direction du plan de polarisation et tenir compte de cette orientation par rapport au plan de réfraction. Une expérience photométrique préliminaire donnerait pour chaque couleur le coefficient relatif d'affaiblissement correspondant aux deux cas où la lumière est polarisée dans le plan de réfraction et dans le plan perpendiculaire; pour les azimuts intermédiaires, l'intensité se calculerait aisément.

Digitized by Google

ployait pour les mensurations de l'œil que le compas et l'échelle divisée. Petit construisit pour cet usage un appareil spécial, qui est le premier ophthalmomètre. Cet instrument était très simple : il se composait de deux montants verticaux de cuivre, unis en haut par une pièce transversale au milieu de laquelle s'élevait une tige divisée en lignes et mobile dans la direction verticale ; les fractions de ligne étaient déterminées par une échelle mobile et divisée en douzièmes de ligne. Le globe oculaire en expérience était placé dans une capsule évidée portée sur un trépied et située sous la tige divisée ; son pôle inférieur touchait l'extrémité d'un cône placé au-dessous de lui. On pouvait ainsi mesurer la distance entre la pointe du cône et le pôle supérieur de l'œil, en d'autres termes son diamètre antéro-postérieur, et apprécier ensuite la diminution qui résultait de l'ablation successive des diverses parties dont il s'agissait de connaître l'épaisseur.

Pour la détermination du rayon de courbure de la cornée il employait des lames de cuivre, dans lesquelles il découpait des segments de cercles de différents rayons. Ceux des segments qui, appliqués sur la cornée, s'y adaptaient le plus exactement donnaient par cela même le rayon de la cornée. C'est ainsi que Petit démontra que la cornée n'est pas un segment de sphère, mais est aplatie vers le bord scléral.

Les mensurations prises sur des yeux morts, quoique exactement exécutées, n'ont pas la même importance que les mensurations sur les yeux vivants. En effet, pour un organe délicat comme l'œil, et pour des grandeurs si petites, les changements amenés par la mort même et surtout par l'énucléation du globe sont relativement considérables, et d'ailleurs les mensurations sur le vivant sont les seules qui aient une utilité pratique.

Les premières expériences ophthalmométriques sur l'œil vivant ont été faites par Ev. Home et Ramsden au moyen du microscope, partie en examinant la courbure de la cornée de profil, partie en observant les images réflechies de la cornée, afin de savoir si la cornée changerait sa courbure dans l'acte d'accommodation. Mais les premières mensurations vraiment exactes exécutées sur l'œil vivant ne furent prises que quelques années après par Th. Young, qui opéra sur ses propres yeux. Voici comment il déterminait le rayon de courbure de la cornée : il mesurait premièrement avec

Digitized by Google

un compas le diamètre de la membrane, puis, au moyen d'un miroir placé devant lui entre les yeux, il regardait avec un œil le profil de l'autre et déterminait la hauteur de la cornée au moyen d'une échelle graduée tenue dans une position telle, que son image était aperçue dans le miroir derrière l'image de l'œil. Connaissant le diamètre et la hauteur de la cornée, il calculait le rayon en considérant la cornée comme une partie de sphère. Il détermina aussi l'excentricité de la cornée par rapport à la ligne visuelle. Examinant son œil sous l'eau, il découvrit que la cornée ne prenait pas part à l'accommodation, comme l'avaient cru ses prédécesseurs, Home et Ramsden. Quant à la longueur de l'œil, il employa pour la mesurer un compas à pointes mousses dont il parvint à appliquer les extrémités simultanément sur le sommet de la cornée et au pôle postérieur de l'œil ; pour exécuter cette remarquable expérience il tournait fortement en dedans son œil, dont la saillie était considérable, et il se servait du phosphène pour s'assurer d'avoir bien posé la pointe postérieure du compas sur le pôle postérieur de l'œil.

Les admirables expériences de Th. Young étaient depuis longtemps tombées dans l'oubli quand Kohlrausch publia, en 1839, sa méthode, dont le principe sert encore de base aux observations ophthalmométriques ; cette méthode consiste à déterminer la grandeur d'une image réfléchie par la cornée. Connaissant la distance de l'objet, sa grandeur et la grandeur de l'image, on peut facilement, d'après la formule des miroirs sphériques, calculer le rayon. Dans une lunette astronomique, Kohlrausch plaçait au foyer de l'oculaire deux fils d'araignée tendus parallèlement, et qu'on pouvait, par un mouvement de vis, rapprocher l'un de l'autre sans altérer leur parallélisme. Il amenait les deux fils à coïncider exactement avec les images cornéennes de deux flammes posées de chaque côté de la lunette et dans le même plan horizontal ; puis, au moyen d'une échelle graduée substituée à l'œil, il appréciait la distance des images réfléchies. Il ne détermina ainsi que le rayon de courbure de la cornée.

Pour examiner les changements produits dans l'œil par l'accommodation, Cramer (1853) observa les images dites de Sanson, ou mieux de Purkinje, avec une lunette, et arriva à ce résultat que l'accommodation était due uniquement aux changements de courbure et de position de la surface antérieure du cristallin.

Digitized by Google

En 1854, parut dans l'*Archiv für Ophthalmologie* l'article de M. Helmholtz, *Ueber die Accommodation des Auges*, où il fait la description de son ophthalmomètre et publie les résultats de ses recherches exécutées à l'aide de cet instrument. C'est à cette époque que commence une nouvelle ère pour l'Ophthalmométrie. L'instrument consiste essentiellement en une lunette disposée pour voir à de petites distances et devant l'objectif de laquelle sont placées verticalement, l'une au-dessus de l'autre, deux lames de verre à faces planes et parallèles ; la lame supérieure correspond à la moitié supérieure, la lame inférieure à la moitié inférieure de l'objectif. Quand les deux lames sont dans le même plan, on ne voit qu'une seule image de l'objet ; mais, si l'on fait tourner un peu les deux lames en sens inverses, les rayons émanés de l'objet qui passent par la lame supérieure sont déviés d'un côté, ceux qui passent par la lame inférieure le sont de l'autre ; on voit alors deux images dont l'écartement augmente avec l'angle que les lames forment entre elles. Si l'on amène au contact les extrémités des doubles images d'une ligne à mesurer, la longueur de cette ligne est égale à l'écartement de ses doubles images. Mais on peut calculer cet écartement au moyen de l'angle formé par les lames avec l'axe de la lunette. Pour éviter un long calcul, on peut prendre comme objet une échelle divisée en dixièmes de millimètre. Il suffit alors de faire tourner les lames et de faire une lecture pour chaque dixième de millimètre de l'échelle. Avec les valeurs trouvées on se fait des Tableaux ou des diagrammes.

Quand on revient à la mensuration de l'œil, on emploie comme objet lumineux de petites flammes qui se réfléchissent sur le miroir convexe formé par la cornée. De la rotation qu'il a fallu imprimer aux lames on déduit successivement, par le calcul, la grandeur de l'image cornéenne et le rayon de courbure de la cornée.

L'avantage capital de l'ophthalmomètre de Helmholtz consiste en ce que les petits et inévitables mouvements de la tête du sujet examiné, qui, avec la méthode de Kohlrausch, fausseraient facilement les résultats, n'ont pas ici d'inconvénients, car les deux images se meuvent toujours de la même manière, comme dans l'héliomètre, et leur position relative ne change pas.

Depuis vingt-six ans, plusieurs travaux ont été exécutés sur l'Ophthalmométrie, et les méthodes ont été un peu améliorées ;

Digitized by Google

cependant il faut convenir que la mensuration de la cornée et surtout celle du cristallin exigent toujours une grande habitude et une grande patience de la part de l'observateur, si bien que l'Ophthalmométrie était restée l'apanage d'un très petit nombre d'adeptes.

Il y a un an, voulant entreprendre une recherche ophthalmométrique avec M. le D[r] Schiötz, de Christiania, devenu depuis directeur adjoint de mon laboratoire d'Ophthalmologie à la Sorbonne, je fus conduit à modifier successivement pièce à pièce l'instrument que j'avais fait venir d'Allemagne. M. Schiötz m'a prêté, au cours de ces recherches, un concours si constant, qu'il nous est devenu impossible de définir la part qui revient à chacun de nous dans le nouvel instrument, qui ne conserve de celui de Helmholtz que le principe du dédoublement des images.

Entre les deux objectifs de notre lunette, nous mettons un prisme biréfringent et nous employons comme objet une mire blanche située perpendiculairement à l'axe de la lunette et qui est représentée dédoublée (*fig.* 1). Supposons que la courbure atteigne

Fig. 1.



son minimum dans le méridien vertical; on fait varier la largeur de la mire jusqu'à ce que le plus long gradin de l'une de ses images soit au contact avec le grand côté de l'autre image; puis, tournant la lunette de 90°, on obtient, par exemple, la disposition représentée ci-contre : il y a eu déplacement d'un gradin et deux tiers, et cela suffit pour dire que l'astigmatisme mesure une dioptrie et deux tiers.

Nous parvenons donc en quelques instants, et avec une seule lecture, à connaître l'astigmatisme, que l'instrument primitif de

Digitized by Google

Helmholtz ne donnait qu'en prenant la moyenne de huit lectures et en exécutant une série de calculs, qu'on pouvait, il est vrai, remplacer par l'emploi de diagrammes empiriques.

Nous devons faire remarquer que l'emploi du prisme de Wollaston fait disparaître une cause d'erreur tout à fait intolérable qui était inhérente au dédoublement par les glaces parallèles; en effet, quand une partie de la pupille de l'observateur reçoit un pinceau de rayons et qu'une autre partie de la pupille en reçoit un autre, le moindre degré d'astigmatisme de cet œil fausse tous les résultats ; il y a là une cause d'erreur personnelle très considérable, que nous signalons particulièrement aux astronomes. Les yeux assez parfaits pour pouvoir employer des appareils de ce genre sont rares.

Enfin il nous faut dire que, si nous avons consacré un an de travail assidu à perfectionner l'ophthalmomètre, c'est que cet instrument fournit aux cliniciens un moyen de mesurer avec précision l'astigmatisme de la cornée, mesure qui aura pour effet d'étendre à d'innombrables malades le bienfait des verres cylindriques.

SÉANCE DU 1er AVRIL 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. d'Arsonval, préparateur au Collège de France ;
Offret, professeur au Lycée de Douai ;
Simon, pharmacien à la Ferté-Fresnel (Orne).

M. Mercadier communique à la Société la suite de ses recherches sur la radiophonie. Il a étudié l'action de la lumière intermittente sur le sélénium, et s'est assuré que l'effet était dû aux radiations lumineuses et non aux radiations thermiques. Les récepteurs sont formés de deux rubans en cuivre mince séparés par du papier par-

Digitized by Google

chemin ; ils sont enroulés en spirale et fortement serrés par des vis ; les deux rubans s'attachent aux deux fils d'un téléphone. La surface est limée et polie ; pour la sélénier, on la chauffe sur un bec Bunsen et on la frotte avec un crayon de sélénium.

Les récepteurs sont assez sensibles pour être exposés aux diverses parties d'un spectre. Le spectre tombe sur un écran percé d'une fente de $0^m,002$ derrière laquelle est une lentille cylindrique qui fait converger les rayons sur le récepteur. L'intensité des sons produits est faible dans le bleu, maximum dans le jaune et nulle au delà du rouge.

M. Mascart décrit un électromètre dont les indications sont inscrites par la photographie, grâce à l'extrême sensibilité du papier au gélatino-bromure.

Les photographies mises sous les yeux de la Société par M. Mascart mettent en évidence le fait déjà signalé par lui que le potentiel atmosphérique est plus élevé et plus régulier la nuit que le jour. Ce résultat est en contradiction formelle avec les données anciennes relatives à l'électricité atmosphérique ; la différence est donc expliquée par le défaut d'isolation des anciens appareils ; les indications qu'ils fournissaient étaient plutôt relatives à leur état d'isolation qu'à l'état électrique de l'atmosphère.

M. Mascart fait remarquer combien il est avantageux pour les appareils magnétiques d'employer des aimants de petites dimensions, et présente un bifilaire dont l'aiguille n'a que $0^m,05$ ou $0^m,06$ de longueur. L'aimant porte un miroir concave de $0^m,50$ de foyer, et une mire d'ivoire, divisée en demi-millimètres, est placée au foyer du miroir ; on observe avec une lunette réglée à l'infini : on peut ainsi apprécier $10''$. Pour trouver la composante horizontale en valeur absolue, il suffit de placer l'aimant auxiliaire à $0^m,60$. Avec ces faibles dimensions des barreaux, les termes du cinquième degré disparaissent.

Ces appareils de petites dimensions s'influencent très peu les uns les autres, ce qui facilite l'établissement des observatoires magnétiques.

M. de Mersanne présente un nouveau régulateur électrique. Le mouvement d'horlogerie qui détermine le rapprochement des charbons est embrayé par la palette d'un électro-aimant boiteux placé en dérivation sur le circuit, et qui, par suite, fonctionne lorsque le cou-

Digitized by Google

rant principal s'affaiblit par un trop grand écartement; les charbons peuvent alors se rapprocher. Pour l'allumage, un second électro-aimant placé dans la même dérivation n'agit que si le courant passe entièrement dans la dérivation ; il tend alors à rapprocher les charbons. Quand les charbons se touchent, l'armature de cet électro-aimant retombe et produit l'écart. Les charbons sont très longs, mais sont guidés par des galets de manière à n'avoir qu'une faible résistance.

M. Angot présente, au nom de MM. Richard frères, un baromètre et un thermomètre enregistreurs.

Sur les enregistreurs de l'électricité atmosphérique et du magnétisme terrestre; par M. Mascart.

On a souvent eu recours à la Photographie pour l'inscription des phénomènes météorologiques, mais les procédés employés jusqu'à présent n'étaient pas assez sensibles pour donner une empreinte suffisante dans les cas de variations très rapides, comme sont celles de l'électricité atmosphérique.

J'ai été ainsi amené à faire construire pour l'électricité un enregistreur mécanique qui fonctionne depuis plus de deux ans, au Collège de France, d'une manière très régulière (¹). Toutefois le jeu du mécanisme est délicat; il exige une surveillance attentive et quelque habileté de la part des observateurs.

Les progrès récents de la Photographie et les propriétés extraordinaires des couches de gélatine m'ont fait penser que ces méthodes nouvelles fourniraient toute la sensibilité désirable, en même temps qu'une grande économie d'entretien.

J'emploie le même électromètre que précédemment, en attachant à l'aiguille un petit miroir plan argenté *m* (*fig.* 1). La boîte de l'instrument est fermée par une lentille plan-convexe A, dont la surface plane est à l'intérieur. Les rayons qui proviennent d'une source S située dans le plan focal de la lentille se réfléchissent soit sur la face postérieure de cette lentille, soit sur le miroir mo-

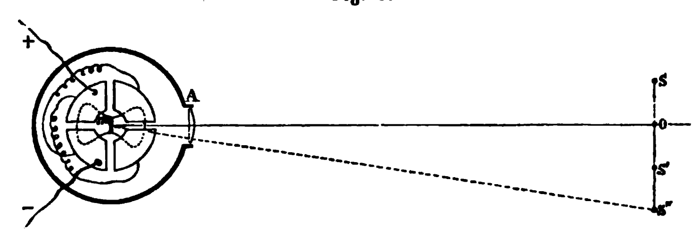
---

(¹) *Bulletin de la Société*, année 1879, p. 182.

bile, et donnent au retour, dans le même plan, deux images S′ et S″, dont l'une est fixe et l'autre mobile. On pourrait argenter aussi le plan de la lentille sur la partie qui n'intercepte pas les rayons dirigés vers le miroir, mais l'expérience montre que cette argenture n'est pas nécessaire et que la réflexion sur le verre donne une image assez intense.

L'appareil enregistreur se compose d'une horloge reliée par une crémaillère à un cadre vertical qui descend de toute sa hauteur pendant vingt-quatre heures. Sur ce cadre on place, entre deux


Fig. 1.



lames de verre, la feuille de papier sensible. La source S est une fente verticale éclairée par une lampe, et la lumière de retour tombe sur une fente horizontale placée en avant du cadre. L'image fixe S′ donne sur le papier une ligne de repère droite, l'image mobile S″ la courbe du phénomène.

Pour marquer l'heure, il suffit de tracer sur la lame de verre antérieure une série de lignes horizontales très fines et opaques, qui interrompent les courbes à intervalles égaux.

J'ai cherché une source de lumière peu coûteuse qui puisse, dans les observatoires isolés où n'arrive pas le gaz, donner un éclairage uniforme pendant vingt-quatre heures. La sensibilité des papiers au gélatino-bromure est telle, qu'une petite lampe, dite au *gazogène*, dont la flamme équivaut à celle d'une veilleuse, suffit à produire des épreuves très intenses, même quand les deux fentes à angle droit qui tamisent la lumière sont très étroites et que l'instrument est à $1^{m},50$ de la plaque, ce qui donne à la lumière un parcours de 3^{m}. La dépense de liquide est de $0^{fr},20$ par jour, et celle du papier photographique, tel qu'on le trouve aujourd'hui dans le commerce, est de $0^{fr},25$.

Pour compléter les indications utiles à conserver sur les feuilles,

Digitized by Google

la dernière lame de verre est opaque et porte en clair certaines inscriptions, telles que le nom de la station, la nature du phénomène et les numéros des heures. Quand on enlève l'épreuve, on met la monture tout entière dans un châssis, la lame transparente en dessous, et l'on expose l'autre lame pendant quelques secondes à la lumière d'une lampe ordinaire : les inscriptions s'impriment à travers le papier sur la couche sensible.

Il n'est pas nécessaire de développer les épreuves chaque jour ; il suffit d'ailleurs, pour cette opération, de plonger le papier dans un bain révélateur composé, par exemple, de la manière suivante :

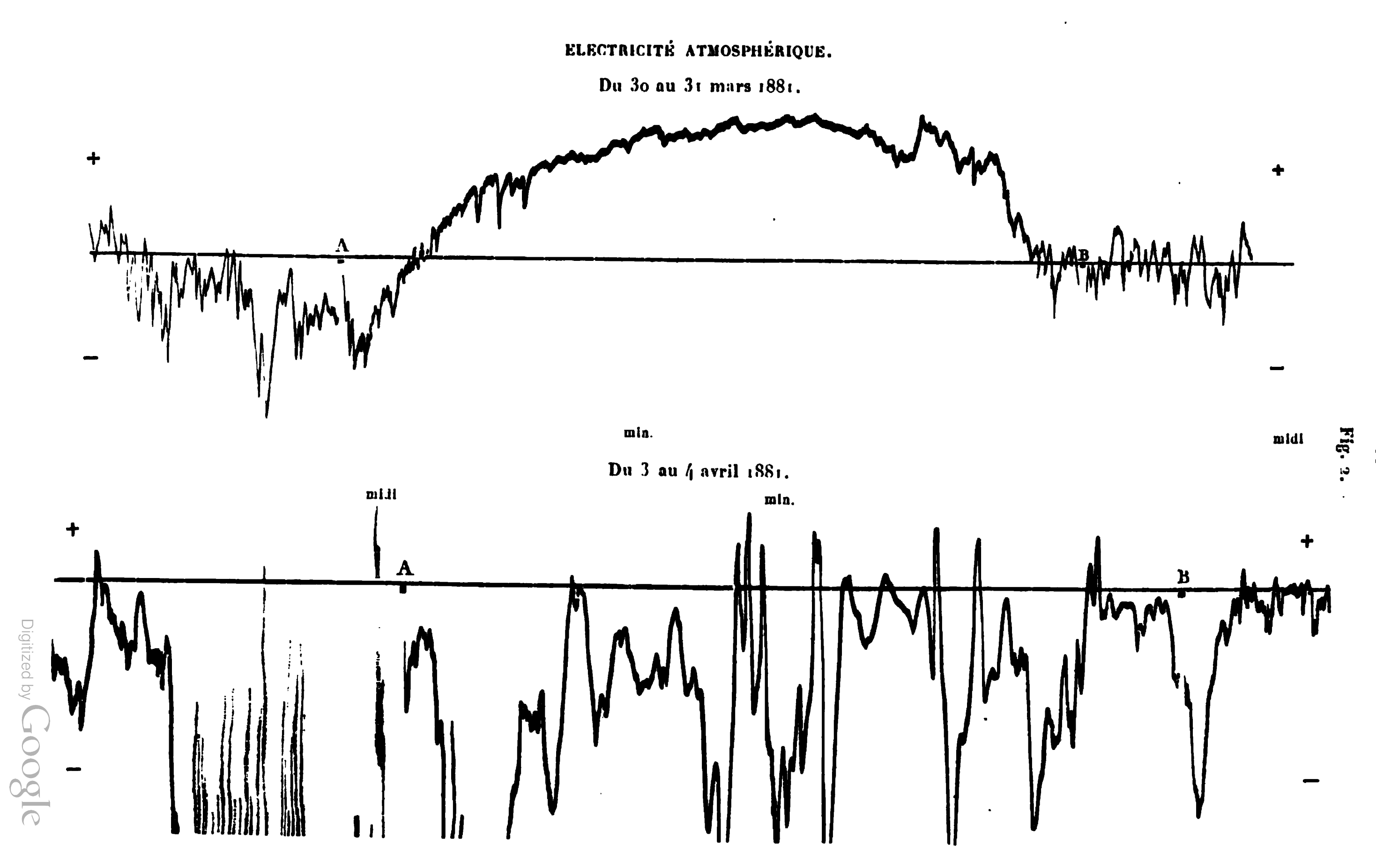
Oxalate de potasse à 30 pour 100	150^{cc}
Sulfate de fer à 30 pour 100	50
Bromure de potassium à 10 pour 100	2

Afin de donner une idée de ce genre d'inscriptions, j'ai fait reproduire la courbe de l'électricité atmosphérique (*fig.* 2) du 30 au 31 mars 1881 et celle du 3 au 4 avril. La première est relativement régulière et montre d'une manière manifeste le maximum de nuit que j'ai déjà signalé ; la seconde correspond à un jour exceptionnellement agité : les oscillations sont à certains moments très rapides et ont une amplitude beaucoup plus grande. Sur chacune d'elles on voit en A et en B deux points où la courbe est ramenée dans le voisinage de la ligne fixe et qui correspondent au moment où l'on a rempli d'eau le vase à écoulement ; on conserve ainsi sur l'épreuve même le moyen de vérifier chaque jour la position du zéro. Enfin, pour obtenir la graduation de l'instrument, il suffit de mettre l'aiguille en communication pendant quelques instants avec le pôle positif d'une pile de 8 ou 10 couples Daniell de petites dimensions dont l'autre pôle est relié au sol : l'image du miroir mobile décrit alors une droite. Il est bon de faire cette épreuve de temps en temps pour s'assurer si la pile qui sert à charger les quadrants est restée constante.

Je répéterai encore ici que les enregistreurs d'électricité atmosphérique ne peuvent donner d'indications certaines que si l'on réalise un isolement parfait du vase d'écoulement, des fils qui le font communiquer avec l'électromètre et de l'aiguille de l'électromètre. Pour vérifier si cette condition est remplie, on arrête l'écoulement, on charge le conducteur artificiellement par une pile ou par un petit

Digitized by Google

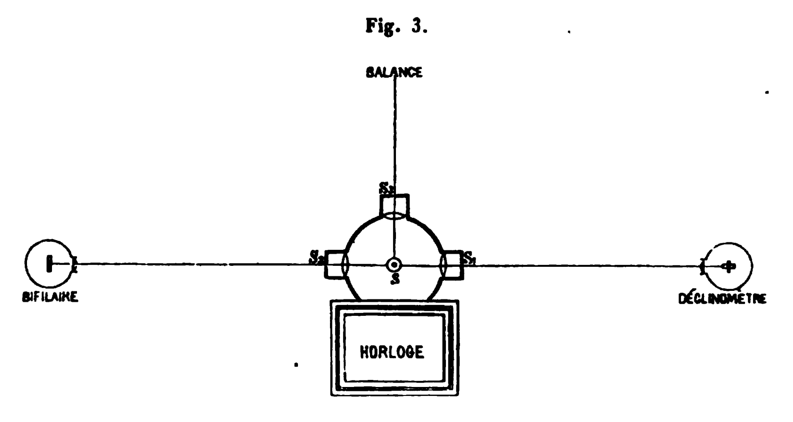
Fig. 2.


ELECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.
Du 30 au 31 mars 1881.
+
A
B
+
—
—
min.
midi
Du 3 au 4 avril 1881.
midi
min.
+
A
B
+
—
—

électrophore : la déviation de l'aiguille ne reste pas alors absolument invariable, mais elle doit diminuer très lentement.

On voit de suite que la même méthode est applicable à plus forte raison au magnétisme, dont les éléments varient d'une manière beaucoup plus lente. L'appareil que j'ai fait construire à ce sujet se compose, comme le précédent, d'une horloge et d'un cadre deux fois plus large, afin d'obtenir sur la même épreuve les variations des trois composantes. Une seule lampe S (*fig.* 3), placée derrière

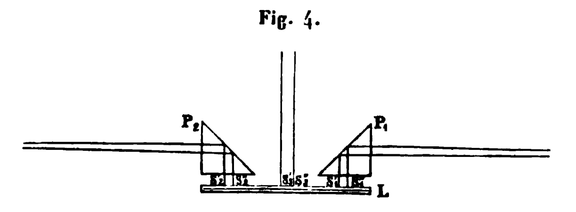
Fig. 3.



l'horloge, éclaire trois fentes S_1, S_2 et S_3 : l'une envoie des rayons au déclinomètre, la deuxième au bifilaire et la troisième à une balance destinée à donner les variations de la composante verticale, chacun de ces appareils étant muni, comme l'électromètre, d'un miroir plan mobile et d'une lentille fixe plan-convexe.

La lumière qui revient du déclinomètre est ensuite réfléchie par un prisme à angle droit P_1 (*fig.* 4), qui cache le tiers de la feuille

Fig. 4.



sensible placée en L et renvoie sur elle l'image fixe S'_1 et l'image mobile S''_1 ; il en est de même pour le bifilaire qui donne les deux images S'_2 et S''_2.

Digitized by Google

Quant à l'image mobile produite par la balance, elle se meut dans un plan vertical et éclairerait toujours le même point de la fente située devant la plaque; mais on fait en sorte que les rayons de retour traversent un prisme redresseur de M. Duboscq (¹), dont l'hypoténuse est parallèle au rayon moyen et inclinée à 45° sur l'horizon. La réflexion dans le prisme fait tourner les images de 90° et le déplacement devient horizontal. La fente S_3 doit alors être horizontale, et les images S'_3 et S''_3, devenues verticales, se forment directement sur le papier sensible. On obtient ainsi sur cette feuille trois droites qui correspondent aux points de repère des trois éléments et trois courbes qui en donnent les variations. Les heures et les inscriptions fixes s'obtiennent comme dans l'électromètre.

J'ajouterai que les aimants dont je fais usage sont extrêmement petits, $0^m,03$ ou $0^m,04$ de longueur au plus pour le bifilaire et le déclinomètre, $0^m,10$ pour l'aiguille de la balance. Il est facile de voir que toutes les causes d'erreur sont d'autant plus faibles et l'énergie relative des aimants d'autant plus grande que leurs dimensions sont plus petites. On y trouve en outre cet avantage précieux qu'à une très petite distance, 1^m ou $1^m,50$ au plus, les instruments n'ont plus l'un sur l'autre aucune action appréciable.

Note snr les instruments enregistreurs de MM. Richard frères; par M. Alfred Angot.

L'utilité des instruments enregistreurs en Météorologie n'a pas besoin d'être démontrée, et c'est déjà à plus de cent ans (²) que remontent les premières tentatives faites dans le but de réaliser l'inscription automatique des différents phénomènes de l'atmosphère. Le problème semble résolu aujourd'hui d'une manière très satisfaisante pour la pression atmosphérique et la température, grâce aux enregistreurs mécaniques de M. Rédier. Mais le prix

(¹) Séances de la Société, année 1879, p. 73.

(²) *Voir* le *Traité* et les *Mémoires de Météorologie* de Cotte, où l'on trouve la description de l'anémomètre enregistreur de d'Ons-en-Bray, du barométrographe de Changeur, etc.

Digitized by Google

élevé de ces instruments et la délicatesse de certains de leurs organes ne permettent pas de les répandre autant qu'il serait désirable, et l'on n'en trouve guère que dans les observatoires proprement dits.

Pour les stations ordinaires, les postes de montagne, les navires, ce qu'il faut avant tout, quitte à sacrifier un peu de précision, ce sont des instruments de construction simple et solide, d'un maniement aisé, fonctionnant au moins une semaine de suite sans qu'on ait besoin d'y toucher, et dont le prix soit en même temps assez modique pour qu'il devienne possible de les répandre en très grand nombre. MM. Richard frères viennent de réaliser un baromètre et un thermomètre enregistreurs qui semblent satisfaire assez bien au plus grand nombre de ces conditions.

Le baromètre se compose d'un certain nombre de boîtes de baromètres holostériques, six ou huit, fixées les unes aux autres, de façon que toutes leurs variations s'ajoutent. La dernière de ces boîtes agit sur la courte branche d'un levier coudé dont la grande branche se déplace dans un plan vertical et a une dimension telle, que les mouvements de son extrémité reproduisent en vraie grandeur, millimètre pour millimètre, les variations du baromètre à mercure (*fig.* 1). L'extrémité de ce levier porte une plume métallique de forme spéciale, munie d'un godet contenant de l'encre à la glycérine qui ne se dessèche pas et est en quantité suffisante pour qu'on n'ait besoin d'en remettre qu'une fois par mois.

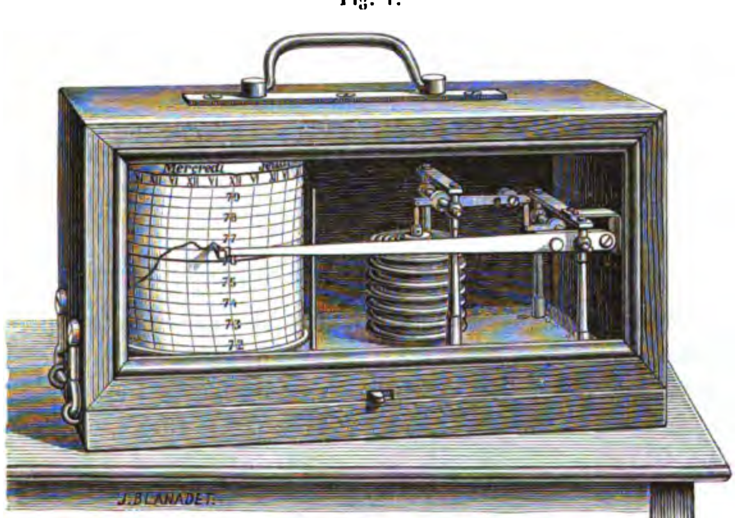
L'inscription des mouvements du levier est reçue sur un cylindre à axe vertical animé d'un mouvement uniforme de rotation et recouvert d'une feuille de papier ; la vitesse et les dimensions du cylindre sont telles qu'une abscisse de $0^{m},01$ corresponde à six heures de temps, et que la rotation totale du cylindre s'effectue en un peu plus de sept jours, ce qui permet de recueillir sur la même feuille l'inscription d'une semaine entière.

L'axe du cylindre est fixe et terminé à la partie inférieure par une roue dentée de grand diamètre ; le cylindre lui-même entre à frottement très doux sur l'axe, et contient dans son intérieur un mouvement de montre qui conduit un petit pignon placé sous la base du cylindre et excentriquement. Quand on introduit le cylindre sur l'axe, le petit pignon engrène sur la grande roue dentée fixe, et tourne ainsi autour de cette dernière, en entraînant avec lui le cylindre.

Digitized by Google

La manœuvre de l'instrument consiste donc, une fois par semaine, à jour fixe, à changer la feuille de papier, remonter le mouvement du cylindre et renouveler l'encre, s'il y a lieu. L'instrument tout entier est renfermé dans une boîte vitrée, qui a environ $0^m,25$ de large sur $0^m,13$ de profondeur et $0^m,15$ de hauteur, et peut être placée où l'on veut, sans aucune précaution particulière, car l'in-

Fig. 1.



strument fonctionne également bien sous toutes les inclinaisons et pourrait même être renversé.

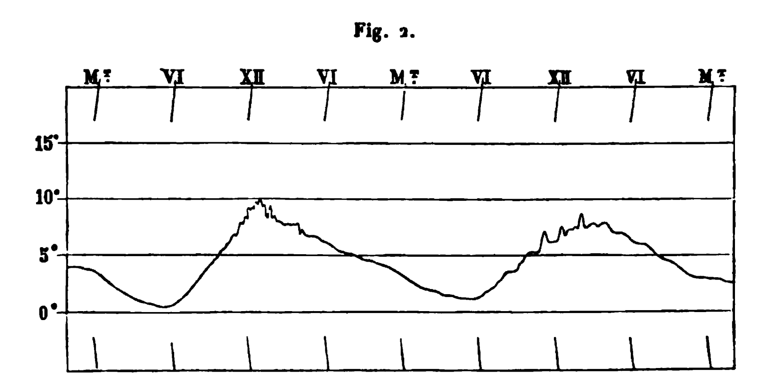
L'exactitude de cet enregistreur est à peu près de l'ordre de celle que l'on peut attendre des baromètres anéroïdes : une étude poursuivie pendant six semaines consécutives au Bureau central météorologique a montré que, lorsque la pression présente des variations amples et rapides, l'enregistreur est en retard sur le baromètre à mercure ; toutefois, dans toute la période d'essai, ce retard n'a pas dépassé $0^{mm},6$.

Le thermomètre est construit exactement sur le même modèle et dans les mêmes dimensions que le baromètre ; seulement les boîtes de baromètres métalliques sont remplacées par un tube de laiton aplati et recourbé en cercle, comme ceux que l'on emploie dans le baromètre et le manomètre de M. Bourdon ; ce tube est rempli d'alcool, de manière que son rayon de courbure change,

Digitized by Google

non plus avec la pression, mais avec la température. L'échelle de l'inscription est de $1^{mm},5$ par degré centigrade. Nous donnons ici (*fig.* 2), comme spécimen de ces inscriptions, le calque exact, en vraie grandeur, de la courbe des 20 et 21 avril.

Fig. 2.



La boîte qui renferme l'instrument est en métal, ce qui permet de l'exposer en plein air ; elle est percée sur ses deux grandes faces, vis-à-vis du tube thermométrique, de larges fenêtres munies d'une toile métallique à mailles assez grosses pour ne pas gêner la circulation de l'air. Grâce à cette disposition et surtout à la très petite masse et à la très grande surface du corps thermométrique, les indications de l'instrument sont très rapides, comme on peut en juger par les accidents que présente la courbe reproduite ci-dessus.

MM. Richard se proposent de construire sur le même modèle un hygromètre à cheveu ou plutôt à membrane de baudruche.

Comme on le voit, ces instruments sont simples et d'un maniement commode ; le prix en est peu élevé, et l'exactitude qu'ils comportent est certainement suffisante pour bien des recherches. Même dans les observatoires, où l'on exige une précision plus grande, ces enregistreurs pourront encore rendre des services comme instruments de contrôle et permettront d'éviter ou de rectifier les grosses erreurs de lecture qui échappent parfois à l'observateur le plus consciencieux.

Digitized by Google

SÉANCE DU 20 AVRIL 1881.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. GERNEZ.

La séance est ouverte à 8 heures.

Cette séance est consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et les appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance. Les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Différents types de moteurs électriques. — Divers galvanomètres. — Chronographe à vitesse constante. — Enregistreur balistique employé dans l'artillerie. — Interrupteur pour bobine d'induction. — Exploseur, par M. Marcel Deprez.

Galvanomètre thermo-électrique, par MM. Marcel Deprez et d'Arsonval.

Pile voltaïque énergique et constante, fournissant des résidus susceptibles d'être régénérés par électrolyse, par M. E. Reynier.

Nouveau procédé d'aimantation. — Moteurs dynamo-électriques réversibles. — Divers moteurs basés sur le même principe. — Application à la propulsion des embarcations légères, par M. G. Trouvé.

Compteur électrique totalisateur pour les usines à gaz, par M. Dumoulin-Froment.

Expériences sur la radiophonie, par M. Mercadier.

Appareil de projection destiné à montrer et à mesurer les phénomènes de polarisation chromatique. — Mégascope, par M. Duboscq.

Machine magnéto-électrique, par M. de Méritens.

Nouvel appareil enregistreur, par M. Albert Duboscq.

Nouvelle lampe Bunsen, par M. Terquem.

Force électromotrice de contact des métaux, par M. Pellat.

Propriété électrique du sélénium. — Recherches sur la polarisation électrique, par M. Blondlot.

Mesure des courants téléphoniques, par M. Ader.

Distribution de l'heure par les horloges pneumatiques, par M. Popp.

Nouveau brûleur à lumière intensive de Siemens, présenté par M. Boistel.

Applications du téléphone et du microphone à la Physiologie et à la Clinique, par M. Boudet de Paris.

Procédé pour obtenir des dessins devant servir à la projection, par M. François-Franck.

Thermographe, par M. Marey.

Digitized by Google

Baromètre enregistreur, par M. Tatin.

Ophthalmomètre pour mesurer la courbure de la cornée, par MM. Javal et Schiötz.

Expériences de Photométrie, par M. Cornu.

Télégraphe imprimeur, par M. de Baillehache.

Héliotrope pouvant se transformer en héliostat, par M. Ch. Robin.

Enregistreur photographique des phénomènes électriques. — Modification de l'appareil de Gauss, par M. Mascart.

Lampe électrique, par M. de Mersanne.

Baromètre-thermomètre enregisteur, par MM. Richard frères.

Miroirs magiques en verre argenté. — Appareil pour montrer en projection et à la fois les trois plans de polarisation du polariseur, de l'analyseur et de la lame, par M. Laurent.

Nouvelle balance électrodynamique. — Nouveaux brûleurs électriques, par M. Debrun.

Récepteurs de sélénium pour photophone, par M. A. Bréguet.

Appareil montrant la déviation apparente du plan d'oscillation du pendule. — Station météorologique portative, par M. Sire.

Le dévioscope, ou appareil donnant directement le rapport qui existe entre la vitesse angulaire de la Terre et celle d'un horizon quelconque autour de la verticale du lieu; par M. G. Sire.

Foucault a formulé le premier que la rotation apparente du plan d'oscillation du pendule est proportionnelle au sinus de la latitude, autrement dit, que le déplacement angulaire du plan d'oscillation est égal au mouvement angulaire de la Terre dans le même temps, multiplié par le sinus de la latitude du lieu de l'observation. Dans notre hémisphère, ce déplacement a lieu vers la gauche de l'observateur qui regarde le pendule ; il a lieu vers la droite dans l'hémisphère austral.

Foucault est arrivé à la découverte de cette loi à l'aide d'une ingénieuse hypothèse qui consiste à admettre que, quand la verticale, toujours comprise dans le plan d'oscillation, change de direction dans l'espace, les positions successives du plan d'oscillation sont déterminées par la condition de faire entre elles des angles minima. Autrement dit et en langue vulgaire, lorsque la verticale sort du plan d'impulsion primitive, le plan d'oscillation la suit en restant aussi parallèle que possible.

Digitized by Google

L'exactitude de cette loi du sinus de la latitude a été confirmée dans tous les lieux où la célèbre expérience de Foucault a été répétée. La difficulté de faire l'expérience dans un Cours de Physique a déterminé quelques savants à imaginer des instruments qui pussent indiquer artificiellement et sur place ce qui, en réalité, se produit aux diverses latitudes. On peut notamment citer Wheatstone et de Silvestre.

L'appareil que j'ai construit permet de vérifier très simplement la loi en question, en ce que la disposition adoptée est une réalisation mécanique fidèle de l'hypothèse de Foucault.

Cet appareil est représenté dans trois positions différentes dans les *fig* 1, 2 et 3 ci-contre; ces positions correspondent à l'expérience du pendule exécutée au pôle, à l'équateur et à une latitude moyenne.

L'appareil se compose (*fig.* 1) d'un trépied de fonte P, surmonté d'un axe d'acier qui supporte une sphère de métal ou de bois dur. Dans toutes les expériences, cette sphère reste fixe. Une armature cintrée *mm* sert de support à un petit système d'engrenages composé des trois roues A, B, C. La sphère et ces trois roues ont rigoureusement le même diamètre.

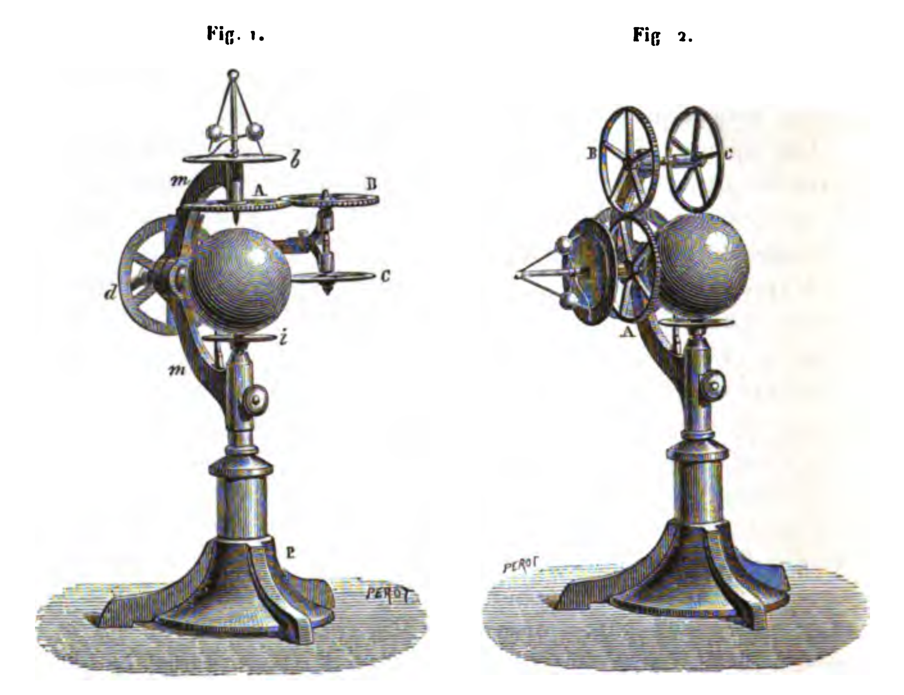
La roue A est fixée à un axe d'acier sur le prolongement duquel est figuré le plan d'oscillation d'un pendule fictif, par deux petites boules de laiton. C'est ce petit pendule que l'on peut établir aux diverses latitudes de la sphère, en déplaçant le système d'engrenages au moyen d'un mouvement de charnière existant sur le milieu de l'armature cintrée *mm* et dont l'axe, prolongé par la pensée, aboutit au centre de la sphère. Sur la partie supérieure de l'armature existe un index qui se meut sur le cercle divisé *d*, ce qui permet de placer exactement le pendule fictif à une latitude quelconque. De cette façon, la verticale du pendule se déplace à volonté, suivant un même méridien de la sphère centrale.

Les roues A et B sont dentées et engrènent ensemble. Quant à la roue C, solidaire avec la roue B, ce n'est en réalité qu'une roulette, au bord tranchant finement denté, destinée à rouler *sans glissement* sur la sphère, lorsqu'on fait tourner, dans le sens de la rotation terrestre, l'armature *mm* autour de l'axe vertical de l'instrument. Or il est visible que, dans cette rotation, la roulette C entraîne la roue B, puisque ces deux pièces sont solidaires

Digitized by Google

sur le même axe, toujours parallèle à la verticale du lieu d'observation ; par suite, la roue B imprime à la roue A une vitesse angulaire égale à la sienne, mais de sens contraire. D'autre part, comme l'axe de la roue A, dans la *fig.* 1, est placé sur le prolongement du diamètre vertical de la sphère, figurant l'axe terrestre, tandis que la roulette C se meut sur l'équateur de cette même

Fig. 1. Fig. 2.



sphère, il en résulte que le plan d'oscillation du pendule fictif reste rigoureusement fixe par rapport aux objets environnants.

De cette fixité on déduit aisément, à l'aide d'un cadran *b* figurant un horizon polaire fixé au support tournant et par une aiguille établie dans le plan d'oscillation, que ce plan semble se déplacer en sens contraire de la rotation du support. On vérifie de la sorte qu'au pôle le déplacement du plan d'oscillation du pendule est égal au mouvement angulaire de la Terre, mais de sens contraire, et que ce déplacement a lieu vers la gauche de l'observateur qui regarde le pendule.

Pour vérifier ce qui se passe à l'équateur terrestre, on dispose

Digitized by Google

l'appareil comme dans la *fig.* 2. On voit alors que le point de contact de la roulette C se trouve précisément au pôle de la sphère, et, partant, que le déplacement de tout le système autour de la verticale de l'appareil ne peut produire aucune rotation angulaire de cette roulette autour de son axe, et qu'il en est de même des roues B et A. On démontre ainsi que, à l'équateur, le plan d'oscillation du pendule n'éprouve aucun déplacement angulaire autour de la verticale, quel que soit l'azimut de ce plan.

Enfin, si l'on considère le cas de l'expérience du pendule exécutée à une latitude moyenne, l'appareil doit être disposé comme dans la *fig.* 3. Dans cette disposition, la roulette C est astreinte à

Fig. 3.



se mouvoir sur un parallèle de la sphère, dont la latitude est égale au complément de celle du lieu de l'observation; dès lors cette roulette imprime à la roue A une vitesse angulaire $\omega' = \omega \sin \lambda$, ω étant son déplacement angulaire sur la sphère.

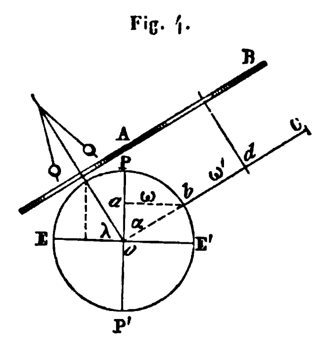
Pour le démontrer, soient : PP′ (*fig.* 4) la ligne des pôles de la sphère; EE′ l'équateur; λ la latitude du lieu.

En faisant tourner le système de roues autour de la verticale de

Digitized by Google

l'appareil, on voit facilement que lès chemins parcourus par le point de contact b sur la circonférence de la roulette C et sur le

Fig. 1.



cercle parallèle de rayon ab sont respectivement

$$\omega' \times bd \quad \text{et} \quad \omega \times ab.$$

Or ces chemins sont égaux, puisque la roulette C se meut sans glissement sur la sphère; on a donc

$$\omega' = \omega \frac{ab}{bd}. \tag{1}$$

La simple discussion de cette formule élémentaire fait voir que:

1° Quand l'expérience est faite au pôle comme dans la *fig.* 1, ab devient égal à $OE' = bd$; par suite, $\omega' = \omega$.

2° Dans le cas de l'équateur (*fig.* 2), ab est nul, ω' est aussi nul.

3° Enfin, pour le cas de la *fig.* 3, comme par construction $bd = Ob$, la formule (1) devient

$$\omega' = \omega \frac{ab}{ob} = \omega \sin\alpha$$

ou

$$\omega' = \omega \sin\lambda,$$

ce qu'il fallait démontrer.

Digitized by Google

SÉANCE DU 6 MAI 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 1[er] avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Husson (Jean-Marie), commandant du vapeur télégraphique le *Pouyer-Quertier*, au Havre;
Husson (Léon), commis principal à l'Eastern Telegraph Company, à Marseille.

La proposition faite par M. le Président de l'échange des publications de la Société avec celles de la Société philomathique est adoptée par un vote.

M. Bouty communique à la Société les résultats définitifs de ses recherches sur la compression exercée par les dépôts galvaniques.

Sur une observation de M. de Romilly, M. Bouty indique que, pour le cuivre, les dépôts comprimants sont bien métalliques, les dépôts dilatants, cristallins. Il suffit de supposer une différence de température de 50° au maximum pour expliquer tous les effets.

M. de Romilly décrit et fait fonctionner des appareils à faire le vide.

M. Émile Reynier présente à la Société et décrit la pile secondaire de M. C. Faure.

Une pile de 8 couples, pesant en tout 58^{kg}, maintient au rouge, pendant une heure quarante minutes, un fil de platine enroulé en hélice, de 4^{m} de longueur et de $1^{mm},2$ de diamètre. L'intensité du courant, mesurée par un galvanomètre Deprez, étant de 20 webers, le travail calorifique total est de 35^{kgm} par seconde, dont 33 dans le fil de platine.

M. Mascart fait remarquer que M. Reynier admet que toute électricité fournie à la pile secondaire est restituée par elle; d'après les expériences de M. Planté, une pile secondaire ne rendrait que 89 pour 100. M. Reynier répond que, pratiquement, cela n'a pas

Digitized by Google

d'importance, parce qu'on ne décharge pas complètement la pile, on la recharge avant épuisement et on la ramène, toujours par décharge, à la même charge résiduelle.

Sur une question de M. Hospitalier, M. Reynier dit que les piles Planté, telles qu'on les trouve dans le commerce, emmagasinent, à poids égal, 40 fois moins que les piles Faure. D'après des expériences de M. Hospitalier, des piles Planté très soignées, appartenant l'une à M. Planté, l'autre à M. Trouvé, emmagasineraient seulement 1,4 et 3 fois moins que des piles Faure.

M. Pellat demande si l'on doit considérer la force électromotrice de la pile secondaire comme constante pendant le chargement. M. Reynier répond que oui, attendu que l'on recharge les couples alors que leur force électromotrice a très peu baissé.

Sur la contraction des dépôts galvaniques et sa relation avec le phénomène de Peltier; par M. E. Bouty.

Dans des Communications antérieures ([1]) j'ai établi : 1° que les dépôts galvaniques éprouvent une variation de volume d'où résulte une compression du moule qui les reçoit; 2° que le phénomène de Peltier se produit à la surface de contact d'une électrode et d'un électrolyte. De nouvelles observations m'ont amené à reconnaître que les deux sortes de phénomènes, les uns mécaniques, les autres calorifiques, sont connexes, et que les premiers sont une conséquence des seconds.

I. Je rappellerai d'abord comment on constate la contraction des dépôts métalliques. Un thermomètre à réservoir cylindrique bien régulier est argenté par le procédé Martin, puis employé comme électrode négative dans l'électrolyse d'un sel métallique; l'électrode positive soluble est elle-même cylindrique; le thermomètre en occupe l'axe, et la hauteur du liquide dans le vase est peu supérieure à celle du thermomètre, de telle sorte que le cou-

---

([1]) *Séances de la Société de Physique*, année 1879, p. 126; année 1880, p. 96 et 101.

Digitized by Google

rant a très sensiblement une densité uniforme en tous les points où se forme le dépôt.

Après avoir fait passer le courant pendant dix minutes, par exemple, on l'interrompt, on agite le liquide et l'on compare l'indication du thermomètre métallisé à celle d'un thermomètre nu plongé dans le même bain([1]); on rétablit le courant et l'on répète la même observation de dix en dix minutes. J'ai démontré précédemment ([2]) que l'excès y que prend au bout d'un nombre t de minutes le thermomètre métallisé est représenté par la formule

$$y = \frac{At}{B+t},$$

que le coefficient B est en raison inverse de l'intensité du courant et ne dépend en outre que de la forme et de l'épaisseur du réservoir thermométrique, tandis que le coefficient A est proportionnel à la contraction de l'unité de volume du métal déposé. En répétant la même expérience, *toujours sur le même thermomètre* [que j'ai pris sensible au $\frac{1}{200}$ de degré ([3])], mais avec des intensités de courant différentes, on déterminera comment la contraction dépend de l'intensité du courant. Tel a été le point de départ de mes nouvelles recherches.

II. Je donnerai quelques exemples de cette méthode, relatifs au sulfate de cuivre pur de densité 1,20.

Poids de cuivre déposé par centimètre carré et par minute :
$P = 0^{mgr},536$.

Temps.	Excès du thermomètre métallisé observé.	Excès du thermomètre métallisé calculé. $A = 3°,6$, $B = 140^s$.	Différence.
m	o	o	
10........	0,300	0,240	— 0,060
23........	0,562	0,508	— 0,054

([1]) Quand le liquide exerce une action chimique appréciable sur le métal, la comparaison des deux thermomètres doit être faite dans l'eau distillée; exemple : zinc et azotate de zinc.

([2]) Séances de la *Société de Physique*, année 1879, p. 126.

([3]) Le réservoir de ce thermomètre a $0^m,08$ de haut et environ $5^{mm},5$ de diamètre extérieur. La longueur du degré sur la tige est d'environ $0^m,06$.

Digitized by Google

Temps.	Excès du thermomètre métallisé observé.	calculé. A = 1°,15, B = 400°.	Différence.
m	o	o	
35........	0,755	0,720	— 0,035
50........	0,947	0,947	0,000
65........	1,096	1,136	+ 0,040
80........	1,240	1,309	+ 0,069
118........	1,555	1,608	+ 0,053
133........	1,630	1,754	+ 0,124
148........	1,708	1,850	+ 0,142
231........	2,045	2,241	+ 0,196

Poids de cuivre déposé par centimètre carré et par minute :
$P = 0^{mgr},392.$

Temps.	Excès du thermomètre métallisé observé.	calculé. A = 2°,5, B = 190°.	Différence.
m	o	o	
10........	0,088	0,125	+ 0,037
20........	0,245	0,239	— 0,006
30........	0,358	0,333	— 0,025
40........	0,448	0,434	— 0,014
50........	0,540	0,521	— 0,019
132........	0,975	1,024	+ 0,049
147........	1,053	1,090	+ 0,037
162........	1,098	1,149	+ 0,051
177........	1,138	1,206	+ 0,068
334........	1,518	1,593	+ 0,077

Poids de cuivre déposé par centimètre carré et par minute :
$P = 0^{mgr},185.$

Temps.	Excès du thermomètre métallisé observé.	calculé. A = 1°,15, B = 400°.	Différence.
m	o	o	
22........	0,043	0,059	+ 0,016
52........	0,123	0,132	+ 0,009
81........	0,198	0,193	— 0,005
108........	0,240	0,244	+ 0,004
131........	0,278	0,281	+ 0,003
226........	0,423	0,415	— 0,008
339........	0,528	0,527	— 0,001

Digitized by Google

Poids de cuivre déposé par centimètre carré et par minute :
$P = 0^{mgr},108.$

Temps.	Excès du thermomètre métallisé observé.	calculé. A = 0°,3, B = 684°.	Différence.
m	o	o	
63........	0,000	0,025	— 0,025
220........	0,070	0,073	+ 0,003
287........	0,095	0,089	— 0,006
349........	0,100	0,101	+ 0,001
461........	0,100	0,120	+ 0,020

Poids de cuivre déposé par centimètre carré et par minute :
$P = 0^{mgr},086.$

Temps.	Excès du thermomètre métallisé observé.	calculé. A = — 0°,14, B = 872°.	Différence.
m	o	o	
163.....	— 0,017	— 0,022	0,005
293... .	— 0,037	— 0,035	0,002

En résumé, on a :

Poids P de cuivre déposé par centimètre carré et par minute.	Produit PB.	Contraction A de l'unité de volume en degrés du thermomètre [1].
mgr		o
0,536............	75,04	+ 3,6
0,392............	74,48	+ 2,5
0,185............	74,00	+ 1,15
0,108............	73,82	+ 0,3
0,086............	74,99	— 0,14
Moyenne.....	74,46	

On voit que la contraction, rapportée à l'unité de volume, dé-

[1] Pour transformer les valeurs de A, il faudrait déterminer les constantes du thermomètre par une expérience de compression directe, ainsi que je l'ai indiqué dans un Mémoire antérieur (*Séances de la Société de Physique*, année 1879, p. 132 et suiv.). Cette transformation serait sans intérêt pour l'objet spécial que nous nous proposons ici.

Digitized by Google

croît rapidement avec l'intensité du courant ([1]) : elle devient très petite pour les courants déposant $0^{mgr},1$ de cuivre par centimètre carré et par minute, enfin change de signe; pour les courants très faibles, on observe, non plus une *contraction*, mais une *dilatation* du dépôt. Ce changement de signe, particulièrement difficile à constater dans le cas du sulfate de cuivre, à cause de l'extrême lenteur avec laquelle se forment les dépôts qui le produisent et de l'action perturbatrice des changements de température du bain, ne peut cependant être révoqué en doute, car on le produit à coup sûr en abaissant suffisamment l'intensité du courant.

C'est surtout quand on substitue l'azotate de cuivre au sulfate que l'on saisit nettement l'existence d'un *point neutre* de la compression. On s'en assurera par les exemples suivants :

AZOTATE DE CUIVRE.

Densité, 1.20.

Poids de cuivre P *déposé par centimètre carré et par minute* ([2]).

	$0^{mgr},633$ ([3]).		$0^{mgr},451$ ([4]).		$0^{mgr},269$ ([5]).
Temps.	Contraction.	Temps.	Décontraction.	Temps.	Décontraction.
m	o	m	o	m	o
9.....	+ 0,058	10.....	— 0,002	30.....	— 0,017
20.....	0,152	25.....	— 0,022	58.....	— 0,052
32.....	0,208	40.....	— 0,027	77.....	— 0,057
46.....	0,293	60.....	— 0,052	321.....	— 0,200
60.....	0,358	80.....	— 0,067		
		100.....	— 0,082		

D'après ce Tableau, la marche des excès négatifs, pour des courants déposant moins de $0^{mgr},6$ de cuivre par seconde et par centimètre carré, est aussi régulière que celle des excès positifs four-

([1]) Pour des intensités correspondant à $P > 0^{mgr},6$, les observations deviennent moins régulières : la limite d'élasticité du métal est dépassée et les contractions A cessent de croître. Bientôt le dépôt change de nature, devient rougeâtre, grenu et sans adhérence, enfin noir et boueux. Le changement d'aspect se produit dès que l'eau commence à être décomposée.

([2]) Expériences indépendantes les unes des autres.

([3]) Beau dépôt d'aspect nettement métallique.

([4]) Beau dépôt soyeux.

([5]) Dépôt régulier, grossièrement cristallin.

Digitized by Google

nis par des courants plus intenses. L'expérience suivante, dans laquelle on a fait varier l'intensité du courant à intervalles rapprochés, montre avec quelle facilité on peut obtenir, sur un même réservoir thermométrique, des couches métalliques alternativement comprimantes ou dilatantes.

Poids de cuivre P par centimètre carré et par minute.	Temps[1].	Contraction[2].	Aspect du dépôt.
mgr	m	o	
0,563...........	6....	— 0,012	Bel éclat métallique.
	16....	— 0,020	
0,751...........	10....	+ 0,008	Très bel éclat métallique.
	20....	+ 0,033	
0,924...........	10,5..	+ 0,010	Bel éclat métallique.
	20....	+ 0,020	
0,583...........	38....	— 0,023	Dépôt cristallin.
1,143...........	13....	+ 0,028	Bel éclat métallique.

Ces diverses observations concourent pour fixer le point neutre correspondant à l'azotate de cuivre de densité 1,20 vers $P = 0^{mgr},6$. Les dépôts comprimants possèdent un bel éclat métallique qui appartient aussi à certains dépôts dilatants; toutefois, à mesure que l'intensité du courant diminue, les dépôts prennent un aspect d'abord soyeux, puis grossièrement cristallin; mais l'ensemble des observations paraît établir que la cristallisation ne joue tout au plus qu'un rôle secondaire dans la production des phénomènes qui nous occupent: il est tout à fait impossible de distinguer par leur aspect certains dépôts, dont les uns compriment et les autres dilatent de la manière la moins douteuse.

III. Il faut donc chercher ailleurs la cause de l'inversion que nous constatons. Pour en établir l'origine, je ferai d'abord remarquer que la contraction A de l'unité de volume dépend de l'intensité i du courant d'après la même loi que l'échauffement E du thermomètre électrode. J'ai démontré ([3]) que cet échauffement est

(1) Comptés à partir de l'origine de chaque période.
(2) Produite à partir de l'origine de chaque période.
(3) *Séances de la Société de Physique*, année 1880, p. 102.

Digitized by Google

représenté par la formule

$$E = -ai + bi^2, \tag{1}$$

dans laquelle a est une constante relative à la chaleur absorbée par le phénomène de Peltier à la surface de contact du métal et du liquide, b une constante caractéristique de la chaleur dégagée dans le liquide, en vertu de sa résistance, au voisinage du réservoir du thermomètre. Pour des valeurs de i supérieures à

$$I = \frac{a}{b}, \tag{2}$$

E est positif, le thermomètre s'échauffe; pour des valeurs moindres, E est négatif et le thermomètre se refroidit. Je désignerai l'intensité I sous le nom de *point neutre des températures*.

Nous avons établi, dans le paragraphe précédent, qu'il y a un *point neutre de la compression*, correspondant à une certaine intensité I′ du courant, qu'au-dessus de ce point neutre les dépôts sont comprimants, qu'ils sont dilatants au-dessous. Je vais montrer que toutes les causes qui font varier le point neutre des températures agissent pour déplacer dans le même sens le point neutre de la compression.

En premier lieu, on sait que le coefficient a de la formule (1) demeure invariable pour un même sel métallique, quelle que soit la concentration de la dissolution employée, tandis que b varie dans le même sens que la résistance, laquelle croît, comme on sait, à partir d'un certain minimum, quand la concentration diminue de plus en plus. Il en résulte que le point neutre I des températures s'abaisse quand on emploie des solutions de plus en plus étendues. Le Tableau suivant, relatif à l'azotate de cuivre, établit qu'il en est de même du point neutre I′ de la contraction.

	Densité de la solution.	Point neutre I′. Poids P (environ).	Intensité I′ en webers par centimètre carré (environ).
	°	mgr	w
Azotate de cuivre.....	1,38	0,7	0,0035
	1,20	0,6	0,003
	1,14	0,4	0,002
	1,072	0,05	0,00025

Digitized by Google

Pour un même métal et à densité égale de la dissolution saline, le coefficient a est indépendant de la nature de l'acide du sel, mais b est variable; il est plus petit pour l'azotate de cuivre que pour le sulfate, et, par conséquent, pour le premier de ces deux sels, le point neutre I des températures est plus élevé. Or nous avons vu que, pour l'azotate de cuivre de densité 1,20, $I' = 0^w,003$ par centimètre carré, tandis que pour le sulfate I' est moindre que $0^w,0005$.

Enfin, quand on change la nature du métal, le coefficient a, caractéristique de l'effet Peltier, change à son tour. Quand ce coefficient est positif et qu'il n'y a pas d'actions secondaires énergiques (sulfate et azotate de cuivre, sulfate et chlorure de zinc, sulfate et chlorure de cadmium), on observe un point neutre I des températures à l'électrode négative, tandis qu'on n'en observe pas dans le cas des sels de protoxyde de fer ($a = 0$) [1], de nickel ($a < 0$), etc. On retrouve précisément les mêmes circonstances pour la compression.

Le Tableau suivant indique les points neutres I' dont on a pu constater l'existence.

		Point neutre I'.	
Nature du sel.	Densité.	Poids P.	Intensité I' en webers par centimètre carré.
	o	mgr	w
Sulfate de cuivre.............	1,20	$<$ 0,1	$<$ 0,0005
Azotate de cuivre............	1,38	environ 0,7	environ 0,0035
Chlorure de cadmium.........	1,37	0,7	0,0019
Sulfate de zinc...............	1,38	2,5	0,0168

Le sulfate de zinc fournit une décompression assez énergique pour des intensités moyennes ($0^w,0025$ à $0^w,004$), qui donnent, avec le sulfate de cuivre, des compressions énormes. On s'explique ainsi comment M. Mills [2], qui considérait la *pression galvanique* comme une constante caractéristique de chaque mé-

[1] Avec le protochlorure de fer, un courant qui ne déposait que $0^{mgr},014$ de fer par minute (c'est-à-dire dont l'intensité était huit fois plus faible que celle qui correspond au point neutre du sulfate de cuivre) a fourni, en huit cent soixante minutes, une compression mesurée par $+0°,250$ du thermomètre. Pour des intensités plus fortes la compression croît rapidement, et bientôt la limite d'élasticité du métal se trouve dépassée et le dépôt se déchire.

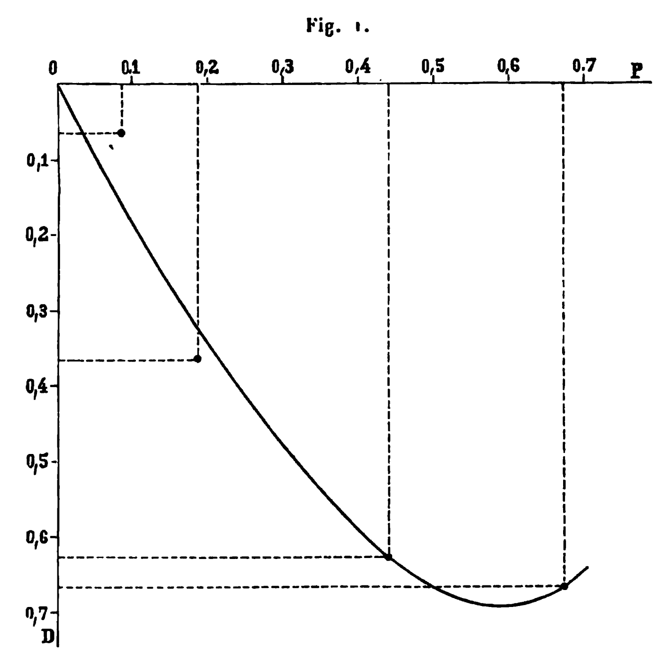
[2] MILLS, *Proceedings of the royal Society of London*, t. XXVI, p. 504.

Digitized by Google

tal, a pu attribuer au zinc une pression négative, qu'il n'aurait pas observée avec des intensités plus fortes [1].

Le chlorure de zinc mérite une attention particulière, car il ne

Fig. 1.



permet d'obtenir que des dépôts dilatants. Le Tableau suivant résume les résultats obtenus avec le chlorure de densité 1,716.

Poids P par centimètre carré et par minute.	Décompression D pour un dépôt total de $0^{gr},25$ par centimètre carré.
mgr	o
0,086	— 0,065
0,186	— 0,366
0,440	— 0,637
0,672	— 0,667

(1) Je ne rapporterai ici que deux observations relatives au sulfate de zinc pur de densité 1,38 :

	Temps.	Contraction.
	m	o
$P = 3^{mgr},29$...	10...	+0,015
	20...	+0,040
	30...	+0,110
	40...	+0,175

	Temps.	Décompression.
	m	o
$P = 0^{mgr},79$...	20...	—0,045
	140...	—0,350

Digitized by Google

On reconnaît sur le Tableau et sur la courbe qui l'accompagne (*fig.* 1) que, quand on fait croître l'intensité du courant, la décompression croît d'abord et arrive à une valeur maximum, au delà de laquelle elle décroîtrait sans doute, pour se rapprocher de zéro et changer ensuite de signe, si le dépôt pouvait continuer à s'opérer régulièrement pour de plus fortes intensités. Le chlorure de zinc ne constitue donc pas une exception; mais, dans les limites accessibles à l'expérience, il ne présente qu'une partie du phénomène que l'azotate de cuivre ou le sulfate de zinc nous ont offert dans son ensemble [1].

IV. En résumé, la marche de la contraction des dépôts galvaniques est analogue à la marche de l'échauffement de l'électrode sur laquelle ils se déposent, et, bien que les nombres obtenus ne permettent pas de déterminer avec certitude les coefficients d'une formule empirique représentant la contraction A de l'unité de volume en fonction de l'intensité i du courant, on peut affirmer qu'elle est de la forme

$$A = -a'i + b'i^2 \qquad (3)$$

et que toute cause qui fait varier les constantes a et b de la formule (1)

$$E = -ai + bi^2$$

produit une variation analogue des constantes a' et b'. Une rela-

---

[1] Rappelons encore que, par une exception singulière, les dissolutions très concentrées de chlorure de zinc présentent des valeurs de a qui décroissent quand la densité de la dissolution croît (*Séances de la Société de Physique*, année 1880, p. 103), de telle sorte que le point neutre des températures correspond à une intensité de courant plus faible pour une dissolution de chlorure de zinc de densité 1,98 que pour une dissolution de densité 1,716. Pour une même intensité de courant, inférieure au point neutre des deux dissolutions, on observe un refroidissement moins intense dans la dissolution la plus concentrée. On trouve, dans les mêmes conditions, une décompression moindre; par exemple, pour P = 0^{mgr},440 et pour 0^{gr},14 de zinc déposé par centimètre carré, on a :

Densité de la solution.	Décompression.
	0
1,98	—0,113
1,716	—0,375

Digitized by Google

tion aussi étroite ne saurait être méconnue. Voici l'interprétation que je propose d'en donner.

Le thermomètre indique la température moyenne du liquide dans une petite étendue autour de son réservoir; cette température n'est pas nécessairement celle du métal qui se dépose. On doit, en effet, considérer que l'eau pure n'est pas conductrice; que le courant se propage à peu près exclusivement par les molécules de l'électrolyte dissous; que, par suite, la chaleur dégagée dans le liquide en vertu de sa résistance ou absorbée par suite du phénomène de Peltier est dégagée ou absorbée dans les molécules de l'électrolyte, qui font ultérieurement échange de chaleur avec les molécules inertes du dissolvant. Aux points où le courant dégage de la chaleur, la température de l'électrolyte est donc toujours supérieure à celle du liquide ambiant; aux points où il en absorbe, la température de l'électrolyte est plus basse ([1]).

Supposons qu'on se trouve dans le premier cas; le métal, à l'instant où il se dépose, est plus chaud que le liquide et, par conséquent, possède une température supérieure à la moyenne indiquée par le thermomètre; aussitôt déposé, il se refroidit à cette température moyenne, et par suite se contracte : le dépôt est comprimant. C'est l'inverse qui se produit quand le métal est plus froid que le liquide : le dépôt est alors dilatant.

Si cette manière de voir est exacte, le point neutre I′ de la compression correspond au cas où le métal et le liquide ont la même température, et l'on s'attendrait peut-être à ce que ce point neutre coïncidât avec celui I des températures ([2]). L'expérience

---

([1]) Une comparaison permettra de donner plus de relief à cette proposition. Supposons qu'un courant se propage dans un paquet de fils métalliques parallèles noyés dans de la gutta-percha, où se trouve également noyé le réservoir d'un thermomètre. Quand on fait passer le courant dans les fils, ils s'échauffent, et leur température est à chaque instant supérieure à celle de la gutta environnante et à la moyenne indiquée par le thermomètre. Si tous les fils présentaient une soudure thermo-électrique au voisinage du point où se trouve placé le thermomètre, et si le courant passait dans un sens tel que le phénomène de Peltier agit pour refroidir les soudures, les soudures s'échaufferaient pour de fortes intensités du courant, se refroidiraient pour des intensités plus faibles, et dans ce dernier cas leur température descendrait au-dessous de celle de la gutta-percha environnante et serait inférieure à la moyenne indiquée par le thermomètre.

([2]) Ce qui exigerait que l'on eût $\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'}$.

Digitized by Google

établit pourtant, et de la manière la plus nette, qu'il n'en est pas ainsi. Le sulfate de cuivre donne des dépôts comprimants sur un thermomètre qui se refroidit d'une manière non douteuse; le chlorure de zinc de densité 1,98 donne des dépôts dilatants sur un thermomètre qui peut s'échauffer beaucoup. Il n'y a donc pas proportionnalité entre l'échauffement du thermomètre et l'excès de température du métal qui se dépose.

Mais on doit considérer que la température des molécules métalliques, à l'instant du dépôt, ne dépend que de la chaleur évoluée par le courant dans une couche d'épaisseur moléculaire (et par conséquent infiniment petite) autour du réservoir du thermomètre, tandis que la température de celui-cj dépend de la chaleur produite dans une couche d'épaisseur finie; que d'ailleurs il peut exister au sein du liquide, mais en dehors des molécules métalliques qui se déposent, des sources de chaleur ou de froid (actions chimiques secondaires, diffusion de l'électrolyte dans le dissolvant, etc.) qui impressionnent le thermomètre sans modifier sensiblement la chute de température du métal à l'instant du dépôt [1]. Les excès E et les contractions A ne doivent donc être comparables que d'une manière approximative et générale : ces deux quantités varient d'après des lois analogues, mais qui ne sauraient être identiques.

Machines élévatoires et appareils pneumatiques;
par M. Félix de Romilly.

I. Machines élévatoires. — On obtient depuis longtemps l'élévation de l'eau par des machines rotatives; toutes consistent en un cylindre immobile dans lequel circulent des aubes mobiles; la

---

[1] La chute de température que nous invoquons doit être égale à l'élévation de température qu'il faut communiquer au thermomètre métallisé pour faire cesser la compression, c'est-à-dire pour que son indication devienne identique à celle d'un thermomètre nu. J'ai établi ailleurs (*Séances de la Société de Physique*, année 1879, p. 136) que cette élévation de température peut quelquefois atteindre une quarantaine et même une centaine de degrés. Ce dernier chiffre doit être considéré comme un maximum.


Digitized by Google

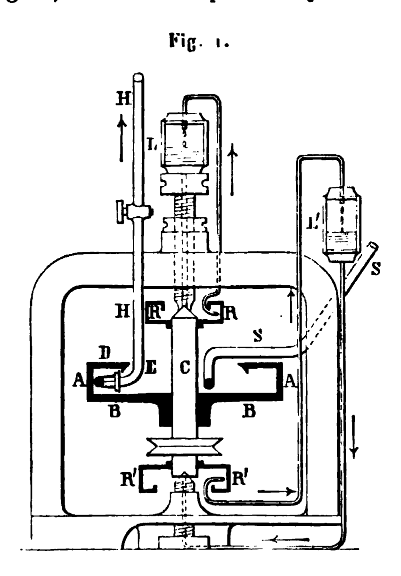
force employée est la force centrifuge. La hauteur atteinte est d'environ 30^{m}. M. Gwynne et plus tard L.-D. Girard ont proposé chacun une machine rotative formée de cylindres analogues, multiples associés. Celle de Girard élevait l'eau à 40^{m} : c'est, je crois, la plus grande hauteur atteinte par des machines à force centrifuge.

La machine que je propose élève l'eau à une hauteur beaucoup plus grande : un appareil de laboratoire mû à la main montre l'élévation de l'eau à 150^{m}. Cette machine est très simple de construction et constituée sur des principes différents. C'est la partie extérieure qui tourne.

Elle se compose essentiellement de deux pièces : 1° une turbine, simple cylindre à deux bases et sans aubes ; 2° un tube fixe. Prenons un type pour exemple.

La turbine (*fig.* 1) est formée par un cylindre A, droit, creux,

Fig. 1.



de petite hauteur, à bases parallèles. Une des bases, B, est reliée à un axe qui la traverse normalement. L'autre base, D, laisse passer librement l'axe C par un large orifice circulaire concentrique.

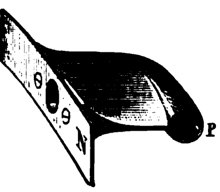
Le tube fixe se compose de deux parties. Il s'élève d'une part, H, jusqu'à la hauteur où l'eau doit être portée, et pénètre d'autre part, E, par l'ouverture de la seconde base, d'abord parallèlement

Digitized by Google

à l'axe, et se recourbe ensuite suivant un rayon, jusque tout près de la paroi cylindrique intérieure de la turbine.

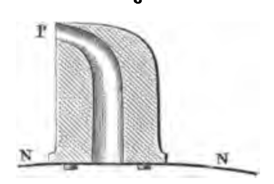
Cette dernière partie, plongée dans l'eau circulante, prend la forme d'un poisson grossièrement dessiné (*fig.* 2), d'où son

Fig. 2.



nom, qui présenterait sa bouche ouverte P au courant affluent. A partir de cet orifice d'introduction, le tube augmente de section suivant un cône de 5° à 6°, tout en se recourbant pour rejoindre sa partie cylindrique (*fig.* 3, vue et coupe).

Fig. 3.



L'appareil fonctionne ainsi : la turbine est mise en rotation; le liquide, par la force centrifuge, forme un anneau appliqué à la paroi intérieure; le tube présente normalement au courant sa section d'orifice et reçoit ainsi l'eau tangentiellement au cercle qu'elle décrit; le liquide monte par ce tube jusqu'à une hauteur correspondant à sa vitesse et croissant comme le carré de celle-ci.

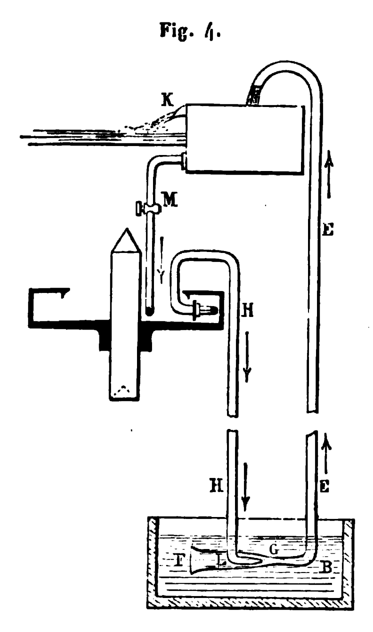
Tel est l'appareil pour la montée de l'eau, dans sa forme générale. Il peut élever l'eau à toute hauteur; sa vitesse n'a de limite que dans la résistance à la force centrifuge de la matière dont il est formé. Nous supposons que l'eau arrive d'une source par le tube S dans la turbine qui l'élève. Mais deux cas peuvent encore se présenter : 1° la turbine est placée à la hauteur même où l'on veut élever l'eau ; 2° elle est placée à une hauteur intermédiaire.

Premier cas. — La turbine est placée au niveau supérieur (*fig.* 4).

Digitized by Google

Ce cas donne lieu à un procédé nouveau : au lieu d'élever l'eau, on la précipite de toute sa vitesse vers le niveau inférieur par le tube H décrit précédemment. L'eau acquiert la vitesse donnée par la turbine, plus celle de sa chute. Le bout inférieur de ce tube de descente se termine par un cône L, par où l'eau sort en jet. Vis-à-vis de cet orifice se trouve un autre orifice G, de section

Fig. 4.



plus grande d'un tiers, de moitié, du double, etc. Cet orifice plus grand, en forme de cône de 6° environ, sert d'entrée au tube d'ascension E. Le tube lanceur, dans sa partie inférieure, est compris dans un tube F enveloppant, concentrique, donnant accès à l'eau tout autour de lui; ce tube enveloppant vient, en convergeant, aboutir à l'orifice d'élévation. Cet appareil d'entraînement, relativement petit, est plongé dans la nappe d'eau B inférieure. Dans ce système, on ne peut conserver la force vive du jet lancé ([1]); mais la quantité de mouvement est conservée si l'on

([1]) On m'a accusé d'avoir commis cette erreur pour l'air, bien que je ne me sois jamais servi que du terme très classique de *quantité de mouvement* (*Journal de Physique*, t. IV, p. 267 et 334). Je relève cette accusation parce qu'elle a été reproduite par les journaux étrangers (*Fortschritte der Physik*).

Digitized by Google

met entre les deux orifices une distance d'environ quatre fois le diamètre de l'orifice récepteur. C'est, après expérience, la même distance que pour l'entraînement de l'air. Mais ici, à l'opposé de ce qui a lieu avec l'air, le tube enveloppant donne un résultat que ne donnent pas les orifices placés vis-à-vis librement.

Une fois l'eau montée, une partie est déversée en dehors, K; l'autre, M, rentre dans la turbine pour servir à un nouvel entraînement.

Remarque. — Il ne faut pas calculer la quantité d'eau entraînée, d'après la vitesse du jet s'élançant librement dans l'air. En effet, l'eau inférieure au repos n'est au repos que relativement au spectateur. Dans la réalité, les deux eaux doivent être considérées comme ayant un mouvement relatif inverse l'une de l'autre. On aura donc en eau montée moins que ne donne le calcul fait sur le jet libre. Le déficit est comblé par une moindre dépense d'eau lancée par la turbine; cette vérité est mise hors de doute par des expériences où l'on emploie, au lieu d'une turbine, un réservoir supérieur fixe dont la dépense est notée.

Ce nouveau système d'élévation d'eau n'est pas spécial; il peut être employé avec une pompe quelconque. Il trouvera surtout son application dans les mines, où il importe d'avoir la machine hors des profondeurs.

Second cas. — Dans le cas où la turbine est placée dans une position intermédiaire, on emploie simultanément les deux moyens. La turbine reçoit toute l'eau montée, la refoule dans le tube déjà décrit, qui se bifurque pour en lancer une partie en bas, tandis que l'autre monte au niveau voulu. Dans le cas où la turbine est placée plus près du niveau inférieur que du niveau supérieur, pour ne pas perdre trop de force vive on peut avoir recours à deux turbines de grandeur différente montées sur le même axe.

Graissage. — Il est important d'avoir un graissage d'autant plus assuré et plus actif que la turbine tourne plus rapidement. C'est ce qu'on obtient en plaçant sur l'axe deux petites turbines (*fig.* 1, R, R′), renfermant chacune une des pointes de l'axe et la vis creuse fixe qui sert de crapaudine. Elles fonctionnent comme la grande turbine.

Digitized by Google

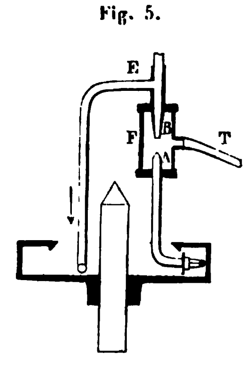
L'huile est amenée de la petite turbine dans la vis creuse par un petit tube, de là à l'extrémité de l'axe, qui, par sa rotation, la lance dans la petite turbine, d'où elle retourne à la vis creuse par une circulation incessante. Le petit tube comprend, dans son passage, une petite lanterne LL' en verre, qui sert à surveiller la circulation de l'huile.

L'huile y est introduite avant la mise en marche; on la ferme ensuite hermétiquement. Inutile d'ajouter que ces petites turbines sont tournées en sens inverse l'une de l'autre, quel que soit le plan dans lequel circule la grande turbine.

II. Appareils pneumatiques. — On peut annexer à la turbine décrite un appareil d'aspiration. En voici deux, conçus d'après des idées nouvelles :

1° Le principe du premier appareil est celui-ci : si l'on fait

Fig. 5.



tomber un jet liquide sur une surface en repos du même liquide, l'air est entraîné dans sa profondeur, en bulles nombreuses; ces bulles remontent vers la surface; mais, si le niveau liquide pouvait être placé au-dessus du jet, une fois produites, les bulles venant du bas ne pourraient plus retourner vers leur niveau d'origine. C'est là le principe; voici comment il est réalisé (*fig.* 5).

Comme pour l'entraînement de l'eau, un jet liquide s'échappe de l'orifice extérieur A du tube de la turbine. Ce jet est lancé de bas en haut. Au-dessus, à quelque distance, concentriquement et normalement à ce jet, se trouve un orifice plus large B, dans lequel le jet s'engage. Cet orifice est l'origine d'un cône divergeant

Digitized by Google

peu à peu. Le cône se remplit d'abord par le liquide lancé et forme au-dessus du jet une surface liquide que la force du jet empêche de tomber. Le jet, en y pénétrant, y entraîne l'air ou le gaz qui l'entoure en bulles nombreuses qui ne peuvent plus redescendre : c'est le vide par barbotage. Elles s'échappent par le haut, soit dans l'atmosphère, soit dans un récipient si l'on veut les recueillir. Un tube E, venant s'ouvrir latéralement dans le cône supérieur de sortie, ramène le liquide élevé à la turbine, qui le fera jaillir de nouveau. A cause de la rapidité du courant, le cône supérieur peut encore se terminer par un tube recourbé qui ramènera ensemble liquide et bulles dans la turbine où la séparation s'opérera. Le jet et les deux orifices sont contenus dans une petite chambre F close, communiquant par un tube T avec le récipient à vider.

Cet appareil, que j'appelle *la pnéole,* ne saurait être confondu avec la trompe, dont il diffère par le principe même de son fonctionnement. Dans la trompe, les deux orifices sont presque de même diamètre; l'eau s'applique sur la paroi du tube récepteur, formé d'un cône très allongé, et c'est son adhérence qui détermine l'appel d'air. Si l'on retournait le nouvel appareil, l'orifice supérieur ne pourrait absolument pas servir comme trompe, car le jet y passerait librement, le diamètre étant trop grand pour que l'adhérence avec la paroi puisse se produire. La pnéole agit par entraînement et barbotage dans une masse liquide. On peut, du reste, en retournant la trompe, produire le même effet, mais on conserve dans ce cas, inutilement, la petite différence de diamètre des deux orifices. C'est alors le maintien d'une masse d'eau au-dessus du jet qui constitue la différence palpable entre les deux appareils.

Voici les avantages de la pnéole :

1° L'appareil, une fois en marche, n'est pas troublé par la mise en communication subite avec l'air ambiant ou avec un grand récipient à vider, ce qui amène, avec la trompe, une rupture d'adhérence ou désamorçage.

2° Un autre avantage, et celui-là capital, c'est de pouvoir faire le vide avec le mercure, ce qui avait été tenté en vain avec la trompe. Le vide par l'eau est limité par la tension de vapeur d'eau. Avec le mercure, le vide est celui même du baromètre. J'ajoute qu'il suffit, pour que l'appareil fonctionne, d'une quantité très petite

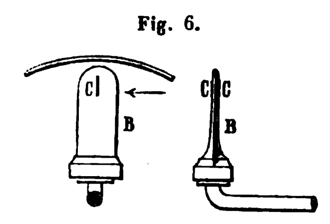
Digitized by Google

d'eau ou de mercure. Avec l'eau, on fait à la main, en huit minutes, le vide à 700^{mm} de mercure dans un récipient de 5^{lit}.

On peut encore se servir de la pnéole comme soufflerie et pour transvaser les gaz.

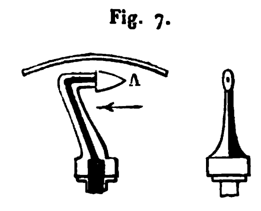
Le second appareil à faire le vide, *la spirelle*, est ainsi conçu : La spirelle est entièrement plongée dans le liquide, eau ou mercure, circulant dans la turbine (ou encore dans un courant quelconque). Elle consiste simplement en une fente pratiquée sur un tube bouché du côté où il pénètre dans la turbine. Cette fente doit remplir certaines conditions. Elle doit être dirigée dans le sens du

Fig. 6.



rayon ou parallèle à une génératrice du cylindre. Le bord de la fente sur lequel le liquide passe d'abord doit être relativement plus élevé que l'autre, de quelques dixièmes de millimètre, de manière à former une petite cataracte. Quant au plan des deux plages qui limitent la fente, le liquide allant vers la fente doit trouver une plage droite ou légèrement montante, et, après la fente, une plage descendante. L'autre bout du tube est relié au récipient à vider. La spirelle peut prendre des formes très variées. En voici deux exemples : 1° Le tube (*fig.* 6) prend à son extrémité l'aspect d'une lame B à double tranchant, coupant le courant. La fente C est rec-

Fig. 7.



tiligne et règne dans la partie immergée, des deux côtés, au milieu du plat de cette sorte d'épée. 2° Une autre forme consiste en un appareil pisciforme (*fig.* 7), semblable à celui qui sert à monter

Digitized by Google

l'eau ; seulement, un cône A est fixé devant l'orifice, le recouvrant en le dépassant un peu par sa base, formant ainsi une fente circulaire, tandis que son sommet se présente au courant. On peut donner à cette spirelle la forme d'un ellipsoïde très aplati dans le sens de la moindre résistance.

Fermeture de la turbine. — La turbine, dans sa marche rapide, laisserait échapper quelques gouttes projetées, malgré la protection de la base annulaire ; on y obvie : 1° en plaçant une bande N parallèle au cylindre derrière le poisson terminant le tube (*fig.* 2 et 3, N); 2° en formant un rebord intérieur (*fig.* 8, A) auquel on donne

Fig. 8.

la coupe d'un huitième de cercle dont toutes les tangentes sont dirigées vers la paroi cylindrique intérieure. Un couvercle plan B, immobile, couvre toute la partie ouverte de la base; son bord épais épouse la forme du rebord, dont il est éloigné par un intervalle très étroit. L'axe traverse ce couvercle sans y toucher. On y ménage encore deux ouvertures pour les tubes de montée et de descente du liquide. Les tubes, ainsi que le couvercle, sont fixés au bâti de la turbine. Ce couvercle est en deux morceaux pour la facilité de sa pose. Avec la bande et ce couvercle, il ne se perd pas la plus petite gouttelette d'eau ou de mercure.

Conclusion. — Dans cette description sommaire, j'ai été obligé d'omettre bien des détails ; ce que j'ai dit suffit toutefois à donner une idée des divers appareils. Je ferai remarquer, en terminant, que leur avantage réside en grande partie dans la diminution des résistances passives auxquelles les autres engins, pompes ou machines rotatives, sont soumis. Dans les uns le frottement du piston, dans les autres le frottement de l'eau tourbillonnant contre des parois immobiles, produisent une résistance qui n'existe pas dans une machine où l'entraînement est produit par la paroi elle-même et la

Digitized by Google

résistance seulement par un engin très petit, pisciforme, à contours fuyants. Pour le démontrer, on donne à un appareil à main la vitesse qui correspond à la production du vide. On cesse alors brusquement de l'actionner : il fait encore un millier de tours. On pourrait dire qu'il en serait de même avec n'importe quelle machine si le volant était suffisamment grand. Mais, dans celle-ci, la partie active de l'appareil est précisément sur le bord du cylindre liquide qui sert de volant. Pour établir la comparaison, il faut supposer le piston d'une pompe frottant contre son volant comme dans son cylindre. Dans ces conditions, l'arrêt serait presque instantané.

Pile secondaire de M. Camille Faure;
par M. Émile Reynier.

Les belles recherches de M. Gaston Planté, sur la polarisation des voltamètres, ont conduit ce savant physicien à l'invention des couples secondaires à lames de plomb, devenus classiques; ces couples accumulent et *emmagasinent*, pour ainsi dire, l'électricité produite par un électromoteur quelconque. On sait que M. Planté est parvenu à donner à ces couples une capacité d'emmagasinement assez grande, au moyen de charges et de décharges successives opérées méthodiquement, ce travail de *formation* ayant pour effet « de développer à la surface du plomb, et jusqu'à une certaine profondeur dans l'épaisseur des lames, des couches d'oxyde et de métal réduit, dont l'état de division est favorable au développement du courant secondaire (1). »

Un couple Planté de $0^{mq},50$ de surface, convenablement *formé*, peut emmagasiner une quantité d'énergie électrochimique capable de rougir, pendant dix minutes, un fil de platine de $0^{m},001$ de diamètre sur $0^{m},08$ de longueur.

Ces résultats importants ont reçu diverses applications pratiques; mais c'est surtout pour les recherches scientifiques que M. Planté s'est appliqué à en tirer parti. Par la décharge en *tension* d'un

(1) G. Planté, *Recherches sur l'électricité*. Paris, 1879.

Digitized by Google

grand nombre de couples secondaires, préalablement chargés en *quantité*, il est parvenu à obtenir des tensions électriques très élevées, qu'il a encore accrues à l'aide de sa machine rhéostatique.

Pendant que la pile Planté prenait ainsi dans les laboratoires une place de plus en plus importante, quelques ingénieurs voyaient en elle la solution générale du transport et de la distribution de l'électricité, et par conséquent de l'énergie sous toutes ses formes : force, chaleur, lumière, énergie chimique, etc. Mais, pour obtenir ces résultats, il fallait donner à l'appareil une plus grande capacité d'emmagasinement, avec un poids et un volume moindres.

Les essais infructueux tentés dans ce but par divers électriciens avaient mis en relief les difficultés du problème. La solution semblait donc renvoyée à une date lointaine, quand M. Faure est venu apporter d'importants perfectionnements, qui permettent d'obtenir l'accumulation industrielle de l'électricité.

La pile secondaire de M. Faure dérive directement de la pile Planté ; ses électrodes sont en plomb et plongent dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique ; mais sa *formation* est plus profonde et plus rapide. Dans la pile de M. Planté, la formation est limitée par l'épaisseur des lames de plomb. M. Faure donne rapidement à ses couples un pouvoir d'accumulation presque illimité, en recouvrant les électrodes d'une couche de plomb spongieux, formée et retenue de la manière suivante.

Les deux lames de plomb du couple sont individuellement recouvertes de minium ou d'un autre oxyde de plomb insoluble, puis entourées d'un cloisonnement en feutre, solidement retenu par des rivets de plomb ; ces deux électrodes sont ensuite placées, l'une près de l'autre, dans un récipient contenant de l'eau acidulée. Si elles sont d'une grande longueur, on les roule en spirale, comme l'a fait M. Planté. Le couple étant ainsi monté, il suffit, pour le former, de le faire traverser par un courant électrique, qui amène le minium à l'état de peroxyde sur l'électrode positive et à l'état de plomb réduit sur l'électrode négative. Dès que toute la masse a été électrolysée, le couple est formé et chargé.

Quand on le décharge, le plomb réduit s'oxyde et le plomb peroxydé se réduit, jusqu'à ce que le couple soit redevenu inerte. Il est alors prêt à recevoir une nouvelle charge d'électricité.

Pratiquement, on peut emmagasiner ainsi une quantité d'é-

Digitized by Google

nergie capable de fournir un travail extérieur de 1 cheval-vapeur pendant une heure, dans une pile Faure de 75^{kg}. Des calculs, basés sur les données de la Thermochimie, nous démontrent que ce poids pourra être beaucoup diminué.

Le *rendement* de la pile secondaire de M. Faure peut, dans certaines conditions, atteindre 80 pour 100 du travail dépensé pour la charger. Je démontrerai que ce rendement élevé est en parfait accord avec la théorie.

Quant aux résultats industriels considérables que nous promet, à bref délai, le nouvel accumulateur d'électricité, nous n'en parlerons ici que pour en rapporter en grande partie le mérite aux travaux persévérants et désintéressés de M. Gaston Planté, qui ont été le point de départ de l'importante invention de M. Camille Faure.

Sur le rendement des piles secondaires.
Note de M. Émile Reynier.

Le travail par piles secondaires comprend deux phases : la *charge* de l'accumulateur par l'action d'une source électrique extérieure et sa *décharge* dans le circuit exploité. Chacune de ces opérations comporte une perte. Cherchons l'expression du rendement final, c'est-à-dire le rapport entre le travail utilisé secondairement et le travail total dépensé premièrement.

Pour simplifier l'interprétation des formules, supposons d'abord que le travail à obtenir consiste en une production de chaleur dans une résistance fixe : une lampe à incandescence, par exemple.

Nous avons à considérer :

E_0, la force électromotrice *initiale* de la source ;
R_0, sa résistance ;
E, la force électromotrice de la pile secondaire ;
R, sa résistance ;
E_1, la différence de potentiel aux deux extrémités du conducteur exploité ;
R_1, la résistance de ce conducteur ;

Digitized by Google

t, le temps de la charge ;
t_1, le temps de la décharge.

Le travail T_0 dépensé pour *charger* sera (en supposant le régime constant)

$$T_0 = E_0 \times \frac{E_0 - E}{R_0 + R} \times t. \tag{1}$$

Le travail T utilisé dans la résistance exploitée sera

$$T = \frac{E_1^2}{R + R_1} \times t_1. \tag{2}$$

Pour trouver le rapport de ces deux travaux, il faut exprimer t_1 en fonction de t. On y parvient en considérant que la quantité d'électricité Q est la même dans les circuits de charge et de décharge (¹), et que cette quantité est proportionnelle aux produits des intensités des courants par les temps ; d'où l'équation

$$\frac{E_0 - E}{R_0 + R} \times t = Q = \frac{E_1}{R + R_1} \times t_1,$$

d'où

$$t_1 = \frac{t \times \dfrac{E_0 - E}{R_0 + R}}{\dfrac{E_1}{R + R_1}} \tag{3}$$

En substituant à t_1 sa valeur dans l'expression (2), cette expression devient

$$\frac{T\,\dfrac{E_1^2}{R + R_1} \times \dfrac{E_0 - E}{R_0 + R} \times t}{\dfrac{E_1}{R + R_1}} = E_1 \times \frac{E_0 - E}{R_0 + R} \times t, \tag{4}$$

d'où le rendement

$$\varphi = \frac{T}{T_0} = \frac{E_1}{E_0}. \tag{5}$$

Le rendement est donc exprimé simplement par le rapport entre

(¹) Au point de vue pratique, ce fait réclame une vérification expérimentale.

Digitized by Google

la différence de potentiel aux deux bouts de la résistance exploitée et la force électromotrice initiale de la source d'électricité ; il est indépendant des résistances et des valeurs (absolues et relatives) des temps de charge et de décharge.

J'ai supposé que le travail à produire était l'échauffement d'une résistance ; si le courant de décharge travaillait dans un circuit qui fût le siège d'une force électromotrice, dans un moteur électrique par exemple, l'expression du rendement ne serait pas altérée, mais il faudrait, dans la pratique, se mettre en garde contre une erreur d'interprétation et ne pas prendre pour valeur de E_1 la différence du potentiel aux deux bornes du moteur ; car E_1 doit exprimer la force électromotrice inverse du moteur à l'origine de l'induction.

On aurait pu arriver directement à l'expression du rendement en prenant d'emblée

$$T_0 = QE_0 \quad \text{et} \quad T = QE_1,$$

d'où

$$\rho = \frac{T}{T_0} = \frac{E_1}{E_0}. \tag{5}$$

Mais les développements précédents font voir comment les résistances s'éliminent de l'expression finale : ils nous donnent les valeurs respectives et relatives des temps de charge et de décharge, et nous montrent que, si les résistances n'agissent pas sur le rendement final, elles influent sur les temps, et par conséquent sur les valeurs des travaux dépensés et récupérés dans l'unité de temps.

Dans la pratique, les résistances des circuits doivent être prises en considération. C'est à cause de sa très faible résistance intérieure que la pile secondaire de M. Faure permet d'obtenir un rendement final de 80 pour 100, avec des régimes de charge et de décharge avantageux. En effet, les constantes de la pile Faure sont, pour le petit modèle de $6^{\text{kg}},500$,

$$E = 2^{\text{volts}},15,$$
$$R = 0^{\text{ohm}},006 ;$$

faisons

$$E_0 = E \times 1.1 = 2^{\text{volts}},36,$$
$$E_1 = E \times 0.9 = 1^{\text{volts}},93,$$
$$R_0 = R = 0^{\text{ohm}},006,$$
$$R_1 = R \times 9 = 0^{\text{ohm}},054.$$

Digitized by Google

Le travail dépensé pendant la charge sera

$$\frac{E_0^2 - EE_0}{g(R_0 + R)} = 4^{\text{kgm}},21$$

par seconde et par couple, régime qui permettrait de saturer la pile dans un temps de charge beaucoup plus court que celui dont on disposera habituellement.

Le travail *récupéré* par seconde et par couple, pendant la décharge, sera égal à

$$\frac{E_1^2}{g(R + R_1)} = 6^{\text{kgm}},3,$$

travail qui n'est pas inférieur à celui que nous voulons tirer de ces couples pour les applications industrielles que nous avons en vue.

Quant au rendement, il est, dans ces conditions, égal à

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{0,9}{1,1},$$

soit 81 pour 100.

SÉANCE DU 20 MAI 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Berger (Georges), commissaire général de l'Exposition internationale de l'électricité;
Deschiens (Victor), ingénieur à Paris;
Gérard (Anatole), ingénieur mécanicien à Paris;
Law (Arthur-B.), à Bordeaux;
Monthiers (Maurice), adjoint au service des installations de l'Exposition internationale de l'électricité.

M. Cornu annonce à la Société qu'il a reçu une lettre de

Digitized by Google

M. Spottiswoode, relative à diverses expériences effectuées à l'aide de la machine de M. Méritens.

M. Schwedoff, professeur à l'Université d'Odessa, donne lecture d'un Mémoire sur l'origine extra-terrestre de la grêle. Les grêlons réguliers présentent les figures qu'on obtiendrait par la rotation d'une masse fluide, figures qui peuvent varier de la sphère au tore; les grêlons percés d'un trou central sont d'ailleurs très rares. Dans les grêlons à peu près sphériques, le centre se distingue du reste de la masse et donne un noyau sphérique; dans les grêlons aplatis et concaves aux pôles, le noyau est cylindrique; d'une manière générale, les fragments qui composent le grêlon sont orthogonaux aux surfaces de niveau.

M. Schwedoff montre par projection des figures de grêlons observés à Tiflis par Abich; quelques-uns présentent des groupes de cristaux qui peuvent être assez volumineux jusqu'à $0^{m},015$ de longueur. Il demande que l'on fasse le plus possible d'observations de grêlons, pour vérifier, s'il y a lieu, sa théorie.

M. Guébhard propose de rapprocher ces formes aplaties de grêlons des formes annulaires observées dans des gouttes liquides se déplaçant dans un fluide qui s'oppose à leur mouvement. D'après M. Schwedoff, cette assimilation ne saurait s'appliquer aux grêlons volumineux.

M. Mallard présente la théorie des phénomènes produits par des croisements de lames cristallines, théorie s'appliquant à la polarisation rotatoire.

M. Mercadier annonce qu'il est arrivé à reproduire le chant et la parole articulée à l'aide du tube thermophonique à lame vibrante, qu'il a précédemment présenté à la Société. Il répète quelques-unes de ses expériences.

Digitized by Google

Expériences faites avec une nouvelle machine de M. de Méritens; par M. W. Spottiswoode.

(Extrait d'une Lettre de M. W. Spottiswoode, président de la Société royale de Londres, à M. A. Cornu, membre de l'Institut.)

..... Quant à la machine elle-même, ses dimensions et sa construction, vous avez déjà des détails précis de M. de Méritens; c'est, comme vous savez, le type des phares, mais elle présente un grand avantage de construction et de puissance sur le modèle primitif et même sur celles récemment construites pour l'administration des phares en Angleterre. Grâce à la grande habileté et à l'ingéniosité qui caractérisent le travail de M. de Méritens, la machine a été combinée de telle façon qu'elle puisse être arrangée en quatre ou cinq circuits séparés; un changement facile des chevilles dans les plaques circulaires, à chaque bout de l'axe, nous permet de passer d'un arrangement à un autre. Pour les expériences directes, ici, l'arrangement en cinq circuits était employé.

La machine est placée, avec la machine à vapeur qui l'entraîne, dans un bâtiment à une distance d'à peu près 100^{m} de la maison. Des fils placés dans des tuyaux souterrains conduisent de la machine au laboratoire, et les courants sont de là distribués dans les différentes directions nécessaires, par un distributeur.

Un des buts pour lesquels la machine fut faite fut d'illuminer huit bougies Jablochkoff placées dans des vases antiques, dans les jardins autour de la maison. La machine primitive était capable, quand tout était en bon état, d'allumer 3 bougies sur chacun de ses quatre circuits (c'est-à-dire 12 en tout); mais d'ordinaire, on n'a pas pensé qu'il fût désirable d'en employer plus de 2 (c'est-à-dire 8 en tout); la machine dont je parle, à la vitesse de 900 tours par minute, est capable d'illuminer 6 bougies sur chacun des cinq circuits (c'est-à-dire 30 en tout); mais elle fonctionne actuellement avec seulement 4 bougies dans chaque circuit, parce que la vitesse de la machine est réduite à 850 tours.

Un autre but pour lequel la machine est employée est l'illumination de quelques lampes incandescentes de Swan. Ces lampes

Digitized by Google

consistent, comme on sait, en fil fin de charbon spécialement préparé et suspendu dans une ampoule de verre pleine d'un gaz très raréfié. Elles avaient habituellement été illuminées par les machines fournissant des courants directs, telles que celles de Gramme et de Siemens, mais j'ai trouvé qu'elles sont illuminées avec non moins d'efficacité par les machines donnant des courants alternatifs.

Parmi les nombreuses combinaisons dont cette machine est capable, vous savez que chaque circuit peut être arrangé, soit en quantité ou en tension. En conséquence, nous avons essayé la lampe de Swan dans les deux conditions. Comme on pouvait le prévoir, cela fait peu de différence dans le résultat, soit qu'on emploie l'arrangement en quantité ou l'arrangement en tension, parce que la différence dans les courants peut être compensée par une disposition différente des lampes. Avec l'arrangement en quantité, un plus petit nombre de lampes furent placées en série et un plus grand nombre en circuits parallèles, tandis que, avec l'arrangement en tension, on en mettait plus en série et moins en circuits parallèles. Avec le premier arrangement, nous trouvions que 2 en série donnaient de très bons résultats, tandis que 3 en série paraissaient un peu trop. Avec le second arrangement, nous essayâmes 5, 6, 7 et 8 en série avec de bons résultats dans chaque cas; mais, tout bien considéré, nous trouvions que 6 en série étaient la meilleure combinaison.

Le nombre total des lampes qui peuvent utilement être employées dans chaque arrangement dépendra de deux conditions, d'abord de la résistance de chaque lampe et ensuite du total d'illumination exigé pour chacune ; la résistance de chacune des lampes employées maintenant est à peu près 75 ohms à froid et environ la moitié lorsqu'elles sont chaudes, et puisque le trait principal de ces lampes, en dehors de la fixité de la lumière, consiste dans le pouvoir de subdivision, j'ai considéré qu'il valait mieux accroître le nombre des lampes plutôt que l'intensité de la lumière de chacune. Cela a encore l'avantage de ne pas risquer de compromettre les lampes. Je n'ai pas encore fait présentement de mesures photométriques de la lumière avec la disposition adoptée en dernier lieu, mais elle peut être grossièrement estimée de 10 à 12 bougies chacune. Avec la machine tournant à 900 tours par

Digitized by Google

minute, nous trouvons que 48 lampes peuvent être maintenues sur chaque circuit, c'est-à-dire 240 sur la machine entière. Il reste encore à essayer si, en arrangeant la machine en 4 circuits au lieu de cinq, et par conséquent obtenant une tension un peu plus élevée, on pourrait obtenir un résultat plus avantageux; dans ce cas on devrait faire des expériences encore plus avant dans cette direction.

En ce qui concerne la puissance mécanique nécessaire pour réaliser ces résultats, nous trouvons, au moyen des diagrammes de l'indicateur, que la force dépensée pour illuminer les 48 lampes dans la manière déjà décrite était de 10 chevaux, 75. De cela il faut retrancher 8 chevaux, 75 pour faire mouvoir les deux machines, ce qui fait 2 chevaux pour les lampes. Si la totalité des courants était employée pour des lampes semblables, il faudrait $2 \times 5 = 10$ chevaux pour 240 lampes et 8,75 pour les machines; savoir 18, 75 chevaux en tout. Cela donnerait 12, 8 lampes par cheval. Je ne suis cependant pas du tout sûr que de bien meilleurs résultats ne puissent être obtenus par d'autres essais de combinaisons variées dont la machine est capable.

L'autre usage de la machine que j'ai à mentionner ici est son application à la bobine d'induction. Comme le principe de cette application et ses principaux résultats ont été décrits dans deux Mémoires publiés ici, je me permets de vous en adresser des exemplaires dans lesquels vous verrez ce qui a été fait. N'ayant jusqu'à présent pas fait d'expériences systématiques de ce genre avec cette nouvelle machine, je me borne à ajouter que tous les effets décrits jusqu'à présent peuvent être reproduits sur une plus grande échelle et avec une énergie beaucoup plus grande par la nouvelle machine. En particulier, j'ai ajouté quelques bouteilles de Leyde, suivant le mode usuel, au circuit secondaire, et l'effet était extrêmement brillant comme lumière et comme bruit, et aussi en ce qui regarde le nombre des lignes développées dans le spectre de l'étincelle.

Un des principaux buts de M. de Méritens, en construisant les machines antérieures à celles-ci, était l'éclairage des phares. Avec le précédent modèle, les circuits étant tous accouplés en quantité, une lumière de plus de 12 000 bougies était produite et mesurée. Avec la machine dont je parle, on comprend que dans l'atelier une

Digitized by Google

lumière de 20 000 bougies était produite, mais, alors, il faut employer des charbons de $0^m,025$.

Je mentionnerai une autre expérience que nous avons faite en passant. Ayant trois circuits arrangés en quantité, nous insérions un bâton de charbon de $0^m,013$ de diamètre dans le circuit sans le casser, et nous avons trouvé qu'il était possible de maintenir incandescent $0^m,45$ de ce charbon; je ne suis pas du tout sûr que ce soit la longueur extrême qui puisse être ainsi portée au rouge, mais nous n'avons pas en ce moment le moyen de prolonger le bâton de manière à étendre l'expérience.

Ces quelques notes serviront, je pense, à attirer l'attention des savants sur l'importance de cette machine comme instrument de recherches physiques, et à montrer que, sous une forme ou sous une autre (peut-être pas toujours sur la même échelle que le modèle que je viens de décrire), elle peut, avec de grands avantages, trouver à l'avenir place dans les laboratoires.

. . . .

W. Spottiswoode.

Sur la forme et la structure des grêlons;
par M. Théodore Schwedoff.

Dans une Note antérieure, dont on trouve le résumé dans le procès-verbal de la séance du 5 novembre 1880, j'ai exposé les principales considérations qui m'ont porté à conclure que la grêle constitue une espèce particulière de météorites cosmiques.

Une de ces considérations concernait la régularité extraordinaire des grêlons observés par Abich au Caucase.

Une étude attentive des faits attestés par d'autres observateurs m'a conduit à la conclusion que, la régularité de forme et de structure observée par Abich n'est pas un cas isolé, qu'elle se trouve avec plus ou moins de perfection dans d'autres cas de grêlons, et qu'en général, malgré la bizarrerie apparente de leur extérieur, les grêlons obéissent, dans leur formation, à un plan déterminé. Ce plan se résume en deux lois, dont voici la première :

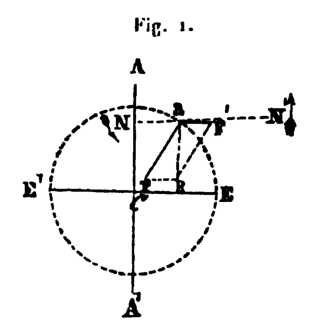
Digitized by Google

1. *La surface extérieure d'un grêlon est une surface d'équilibre ou une surface de niveau d'une masse fluide douée de rotation autour de son axe.*

D'après les conditions d'équilibre, une surface de niveau, et par suite la surface d'un grêlon, doit être perpendiculaire à la force résultante de toutes les actions sur un point quelconque de cette surface. Cette relation suffit pour déterminer les types principaux de formes dont une masse fluide est capable.

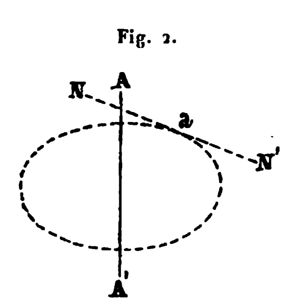
Soient (*fig.* 1) :

Fig. 1.



AEA'E' une masse fluide,
AA' son axe de rotation,
a un point de sa surface,
*a*F la force d'attraction exercée sur ce point par toute la masse,
*a*F' la force centrifuge,
*a*R la résultante de ces deux forces,
NN' une droite perpendiculaire à cette résultante.

Fig. 2.



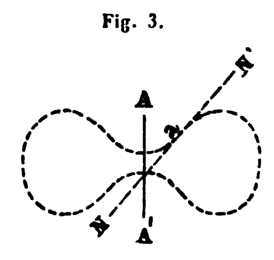
C'est cette droite NN' qui détermine la direction de la surface de niveau au point *a*. Or, la direction de NN' dépend de la relation

Digitized by Google

qui existe entre les forces aF et aF'. Si la force centrifuge aF' est nulle, la droite NN' est perpendiculaire au rayon aC et la figure de la masse est un sphéroïde parfait. Mais à mesure que la vitesse angulaire de rotation devient de plus en plus considérable, la résultante aR s'écarte du rayon aC et la tangente NN' à la surface de niveau tourne dans la direction indiquée par les flèches. En même temps la figure de la masse s'écarte de la sphéricité, devient d'abord aplatie (*fig.* 2), reçoit ensuite des cavités aux pôles (*fig.* 3) et se transforme définitivement en un anneau circulaire.

Tels sont les types principaux de formes d'équilibre d'une masse fluide, douée de rotation et exempte de toute influence extérieure,

Fig. 3.



et nous allons voir que telles sont aussi les formes que nous présentent les grêlons.

Il serait inutile d'insister sur l'existence de grêlons sphériques : ces formes ne sont que trop connues. Les grêlons de forme ellipsoïdale, aplatis aux pôles ne sont pas non plus rares; les observateurs les comparent ordinairement aux lentilles biconvexes. Mais il en est autrement des grêlons présentant des cavités aux pôles. Ce genre de grêlons paraît être très rare; néanmoins nous en avons des cas bien constatés, par exemple, d'après Abich, les grêlons tombés près de Tiflis, le 27 mai 1869, ressemblaient, quant à leur forme, à des mandarines (oranges siciliennes); ils étaient des sphéroïdes très aplatis et présentaient des cavités plus ou moins prononcées aux extrémités de leur axe. La même particularité de forme se répéta onze ans plus tard, le 2 juin 1880, dans le gouvernement de Minsk (Russie). D'après M. Lagounowitch, qui me rapporte ce cas, la forme des grêlons était très étonnante; c'étaient de petites sphères de glace très aplaties et munies de deux « petites fossettes » aux extrémités de leur petit axe. Mais la particularité la

Digitized by Google

plus remarquable dans cette chute de grêle et qui m'a été aussi rapportée par le même observateur, c'est que certains grêlons étaient percés de part en part d'un trou ou d'un canal, dont l'axe occupait le milieu des grêlons. Cette forme intriguait beaucoup l'observateur; mais elle est toute naturelle au point de vue de la loi qui vient d'être énoncée plus haut. Une sphère percée d'un canal central n'est autre chose qu'un anneau. C'est pourtant le seul cas de grêlons annulaires qui me soit connu.

Passons à la structure intérieure des grêlons.

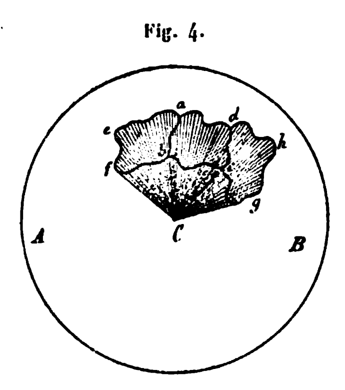
D'après l'opinion générale, les grêlons sont des conglomérats de grains de glace plus ou moins compacts et séparés l'un de l'autre par des couches de neige ou de glace spongieuse, qui seraient déposées successivement sur le grêlon et seraient, par conséquent, parallèles à la surface des grêlons.

Cette manière de voir cadre bien avec les théories existantes, mais elle ne s'accorde nullement avec les faits observés. La vraie structure des grêlons obéit à la loi qui suit :

2. *Les surfaces des couches hétérogènes dont un grêlon est composé sont orthogonales, c'est-à-dire perpendiculaires aux surfaces de niveau du même grêlon.*

Il s'ensuit que la structure intérieure d'un grêlon est intimement liée à sa forme extérieure.

Fig. 4.



Soit AB (*fig.* 4) un grêlon parfaitement sphérique dont C est le centre. Dans cette supposition, toutes les surfaces de niveau sont des sphères concentriques à la surface extérieure, et le seul

Digitized by Google

système possible de surfaces orthogonales, par rapport à ces niveaux, peut être représenté par des surfaces coniques, dont les sommets seraient au centre *c* et dont les bases seraient représentées par des courbes *abcd*, *abef*, ..., tracées arbitrairement sur la surface des grêlons.

Il en résulte cette règle :

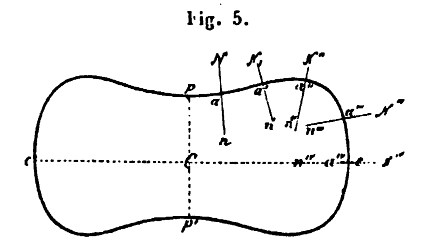
Dans un grêlon parfaitement sphérique, les couches hétérogènes sont des surfaces coniques (et non pas parallèles) à la surface du grêlon. L'intersection de ces couches avec la surface du grêlon forme un réseau de joints de forme arbitraire, et la convergence des couches vers le centre communique à celui-ci un caractère exclusif, qui le fait distinguer de tous les autres points du grêlon. C'est ce centre qui joue le rôle de noyau.

On voit que, dans les grêlons sphériques, la surface doit présenter un aspect irrégulier, et que le noyau y doit prendre l'apparence d'une sphère sans limite bien tranchée.

Passons au cas d'un grêlon aplati et présentant des cavités aux extrémités de son axe.

Soit $pep'e'$ (*fig.* 5) la section axiale d'un pareil grêlon. La sur-

Fig. 5.



face extérieure de ce grêlon admet deux systèmes de surfaces orthogonales. On obtient le premier système en menant par les points a, a', a'', ... de la surface une série de droites $n'N$, nN', $n''N''$, ... perpendiculaires à cette surface, et en les faisant tourner autour de l'axe pp'. Quant au second système, il est constitué par les plans méridiens passant par l'axe pp'. L'intersection de ces deux systèmes avec la surface du grêlon forme un réseau de courbes qui est représenté par la *fig.* 6.

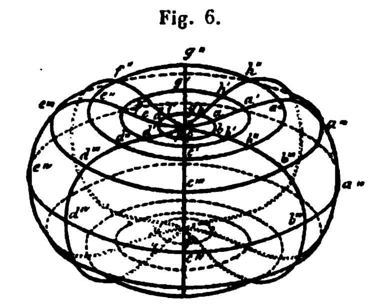
Il en résulte cette règle :

Dans un grêlon très aplati, les couches hétérogènes présentent deux systèmes de surfaces dont l'un correspond aux méridiens et

Digitized by Google

dont l'autre est concentrique à l'axe du grêlon. L'intersection de ces couches avec la surface du grêlon forme deux systèmes de joints, dont les uns sont concentriques et les autres convergents, par rapport à l'axe. L'ensemble de ces joints couvre la surface du grêlon d'un réseau régulier, et la convergence des couches méridiennes

Fig. 6.



vers l'axe communique à celui-ci un caractère exclusif qui le fait distinguer de toutes les autres zones du grêlon. C'est alors cet axe qui joue le rôle de noyau.

On voit que, dans les grêlons très aplatis, la surface doit présenter un aspect régulier et le noyau doit prendre l'apparence d'un cylindre, dont l'axe coïncide avec l'axe du grêlon.

Toutes ces déductions théoriques se trouvent parfaitement confirmées par l'observation.

Voici la description que donne Abich des grêlons tombés le 27 mai 1869, près de Tiflis, à la hauteur de 4500 pieds (¹).

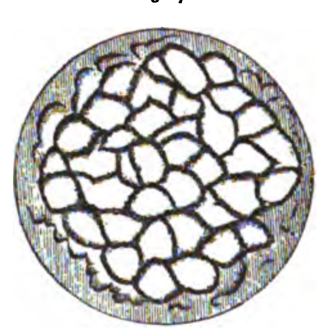
« La régularité des glaçons et l'originalité de leur structure, que jusqu'alors je n'avais jamais observés, imprimaient à ces corps un intérêt tout particulier. Un tiers à peu près de tous les grêlons tombés étaient des sphéroïdes parfaits qui, par leur forme aussi bien que par leur grosseur, ressemblaient aux mandarines. Ce type commun à tous ces corps trahissait l'existence d'une loi générale de leur formation et présentait, dans certains exemplaires, des variétés liées entre elles par des formes intermédiaires et qui rappelaient les variétés de types dans le monde organique.... Dans les grêlons peu aplatis, c'est-à-dire

(¹) *Annales de la Société russe de Géographie* (à Saint-Pétersbourg), section du Caucase, t. X, livraison 3, 1879, p. 21, 22 (en russe).

Digitized by Google

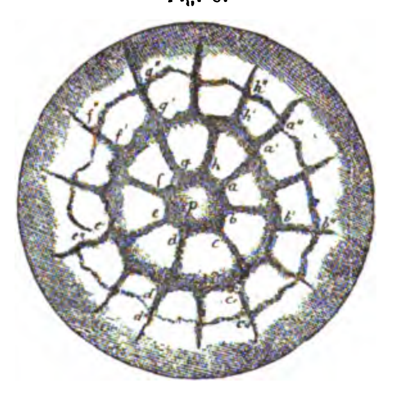
presque sphériques, le noyau avait une forme sphérique indéterminée.... Mais dans les grêlons très aplatis, le noyau était presque cylindrique, et l'on en voyait les bases aux pôles du grêlon, lesquels étaient le plus souvent un peu concaves. Dans le

Fig. 7.



dernier cas, un faisceau de couches de glace transparente partait du noyau central en forme des rayons et formait des plans qui, en se croisant le long de l'axe, partageaient le volume de tout le grêlon en compartiments séparés.... A leur surface équatoriale les

Fig. 8.



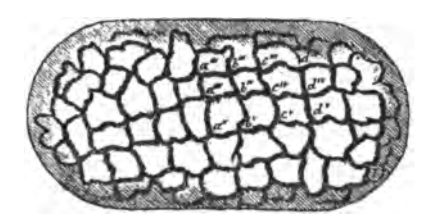
grêlons présentaient un réseau de joints qui rappelaient la structure du firne des glaciers. »

En lisant cette description, on dirait qu'il s'agit de la *fig.* 6, qui représente l'aspect théorique des grêlons, et non pas de vrais grêlons observés, qui sont représentés par la *fig.* 7 (un grêlon

Digitized by Google

sphérique), la *fig.* 8 (surface polaire d'un grêlon aplati) et la *fig.* 9

Fig. 9.



(surface équatoriale du même grêlon).

Sur la théorie de la polarisation rotatoire;
par M. Er. Mallard.

Si l'on superpose d'une façon quelconque n lames cristallines très minces, une vibration, rectiligne à l'incidence, se transforme, après avoir traversé $p-1$ lames, en une vibration elliptique. Je désigne le grand axe de cette ellipse par $\cos u_{p-1}$, le petit axe par $\sin u_{p-1}$, le retard de la vibration par φ_{p-1}, l'angle que le grand axe de l'ellipse fait avec la vibration incidente par ω_{p-1}, l'épaisseur de la $p^{\text{ième}}$ lame par ε_p; les retards que la traversée de cette lame imprime aux vibrations principales par o_p et e_p. Je pose $\varepsilon_p \delta_p = o_p - e_p$; j'appelle β_p l'angle que fait, avec la vibration incidente, la direction de la vibration principale, dont le retard est o_p; je désigne enfin par du_p, $d\varphi_p$, $d\omega_p$ les variations éprouvées par u, φ, ω après la traversée de la $p^{\text{ième}}$ lame.

En négligeant les termes en ε_p^3, on obtient les relations

$$du_p = -\frac{\pi}{\lambda}\varepsilon_p\,\delta_p \sin 2(\beta_p - \omega_p),$$

$$d\varphi_p = \frac{1}{2}(o_p + e_p) + \frac{1}{2}\varepsilon_p\,\delta_p \cos 2(\beta_p - \omega_p) - \frac{\lambda}{2\pi}\operatorname{tang} u_{p-1}\, d\omega_p,$$

$$d\omega_p = -\frac{\pi}{\lambda}\varepsilon_p\,\delta_p \operatorname{tang} 2u_{p-1} \cos 2(\beta_p - \omega_p)$$

$$+\frac{\pi^2}{\lambda^2}\frac{\cos^2 u_{p-1}}{\cos 2u_{p-1}}\varepsilon_p^2\,\delta_p^2 \sin 4(\beta_p - \omega_p).$$

Digitized by Google

J'ai pu déduire de ces équations des formules susceptibles de donner les propriétés optiques d'un cristal formé par le mélange de plusieurs substances isomorphes, en fonction des propriétés optiques de ces substances. Ces équations fournissent aussi une théorie de la polarisation rotatoire.

Quelque complexe que soit la structure d'une molécule cristalline, on peut la considérer comme formée par la juxtaposition d'un nombre plus ou moins grand de milieux biréfringents homogènes. Les équations précédentes peuvent donc s'appliquer à un pareil assemblage, chaque milieu homogène pouvant être considéré comme une lame cristalline. Si l'on fait tomber sur la molécule une vibration rectiligne, on démontre que le grand axe de la vibration elliptique émergente a tourné, par rapport à la vibration incidente, d'un angle ω, qui est : 1° en raison inverse du carré de la longueur d'onde si l'on néglige l'influence de la dispersion cristalline propre à chaque milieu ; 2° proportionnelle à l'épaisseur de la molécule et à une certaine quantité qui est du même ordre de grandeur que l'épaisseur de l'un des milieux homogènes. Cette dernière quantité est inférieure à la dimension de la molécule, et la grandeur du pouvoir rotatoire de la molécule est, par conséquent, excessivement faible.

Une partie de la rotation ω change de sens avec l'azimut de la vibration, mais une autre partie ne dépend, quant à la grandeur et au sens, que de la manière dont les milieux biréfringents homogènes qui composent la molécule sont juxtaposés. Cette dernière partie est nulle lorsque la structure de la molécule est telle qu'on ne peut pas y distinguer un côté droit et un côté gauche.

Si l'on suppose disséminées dans un liquide et orientées dans tous les sens des molécules identiques entre elles, une vibration rectiligne qui traverse le liquide reste rectiligne, car les phénomènes de double réfraction s'annulent par compensation ; la partie de la rotation qui dépend de l'azimut de la vibration s'annule par la même cause, et il ne reste plus que la partie de la vibration qui dépend de la structure de la molécule et qui n'est pas nulle toutes les fois que celle-ci a une droite et une gauche. Cette rotation, lorsqu'elle n'est pas nulle, est proportionnelle au nombre des molécules traversées et à peu près en raison inverse du carré de la longueur d'onde ; elle est de sens contraire pour deux molécules,

Digitized by Google

d'ailleurs identiques entre elles, mais symétriques l'une de l'autre par rapport à un plan. On retrouve donc toutes les lois de la polarisation rotatoire moléculaire.

Si l'on oriente les molécules et si on les groupe régulièrement, de manière à en former un cristal, celui-ci manifestera la double réfraction ordinaire, mais ne montrera pas de polarisation rotatoire sensible, le pouvoir rotatoire de chaque molécule étant tellement faible, que le nombre relativement petit de molécules compris dans l'épaisseur d'une plaque cristalline ordinaire ne suffit pas à le mettre en évidence.

Pour que les cristaux soient doués d'un pouvoir rotatoire observable, il faut qu'ils soient formés par des groupements de molécules cristallines qui peuvent être elles-mêmes sans pouvoir rotatoire, mais qui doivent être formées de telle sorte qu'on puisse y distinguer un côté droit et un côté gauche. Dans ce cas, en effet, le pouvoir rotatoire est proportionnel à une quantité qui est de l'ordre de grandeur de la molécule elle-même, et non plus, comme précédemment, de celui des atomes qui la composent.

J'ai donné, dans un autre travail, les lois auxquelles sont assujettis les groupements moléculaires susceptibles d'entrer dans la structure d'un cristal. J'ai montré que ces groupements, qui ne peuvent se produire que dans les substances à forme limite, ont pour résultat de donner au cristal un axe de symétrie. Si l'axe qui apparaît ainsi est simplement binaire, il ne se produit pas de pouvoir rotatoire. Celui-ci ne peut donc exister que dans les cristaux uniaxes ou uniréfringents : c'est, en effet, ce que constate l'observation.

Lorsque le groupement est ternaire ou senaire, comme dans les groupements de lames micacées de M. Reusch, on démontre aisément que la rotation de la vibration, pour une direction de propagation suivant l'axe, est indépendante de l'azimut de la vibration, proportionnelle à l'épaisseur du cristal et en raison inverse du carré de la longueur d'onde si l'on néglige la dispersion cristalline de la molécule composante.

Pour des directions de propagation peu inclinées sur l'axe, et en se restreignant au cas où la rotation ω et la quantité $\sin u$ (qui est le petit axe de l'ellipse vibratoire) sont de petites quantités dont on peut négliger le cube, on démontre que, pour une vibra-

Digitized by Google

tion incidente dirigée suivant l'une des sections principales du cristal, on a

$$u = \omega_0 \frac{\sin^2 \frac{1}{2} E\Delta}{\frac{1}{2} E\Delta}, \quad \omega = \omega_0 \frac{\sin E\Delta}{E\Delta},$$

ω_0 étant la rotation suivant l'axe, E l'épaisseur du cristal et Δ la différence des retards des deux vibrations parallèles aux sections principales du cristal.

Cette expression de ω se ramène à celle au moyen de laquelle Cauchy a représenté le pouvoir rotatoire du quartz suivant des directions obliques et qui a été vérifiée expérimentalement par M. Jamin.

Il est aisé de voir que ω change périodiquement de signe pour des valeurs de Δ graduellement croissantes et que sa valeur absolue s'annule pratiquement d'une manière assez rapide. Le signe de u reste le même pour une même vibration ; il est opposé pour les deux vibrations principales, lesquelles ont le même ω ; u s'annule d'ailleurs aussi très rapidement lorsque Δ croît.

Pour les cristaux cubiques doués du pouvoir rotatoire, on a $\Delta = 0$, et par conséquent $\omega = \omega_0$, pour toutes les directions de propagation, ce qui est conforme à l'observation.

Reproduction thermophonique du chant et de la parole articulée ; par M. E. Mercadier.

Dans ma Communication du 4 mars (1), j'ai décrit ce que j'ai appelé un *thermophone*.

J'avais obtenu, à l'aide de cet appareil très simple, et avec une intensité très grande dans le cas de sources radiantes énergiques, la reproduction d'une échelle continue de sons musicaux, depuis les plus graves jusqu'à des sons correspondant à plus de 2000 vibrations complètes par seconde, puis, d'une manière continue également, la succession d'accords parfaits dont le son fondamental parcourait cette longue échelle.

---

(1) *Voir* p. 38.

Digitized by Google

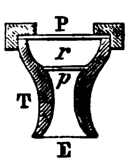
Il était naturel de penser qu'il serait possible d'aller plus loin, en reproduisant le chant et même la parole articulée. J'y suis parvenu en effet dans les premiers jours du mois de mai 1881 ([1]), en suivant la marche qui va être exposée.

Lorsqu'à l'aide d'un thermophone employé comme *récepteur* on veut essayer de reproduire, non plus des sons ou des accords musicaux, mais bien le chant et la parole articulée, la forme de l'appareil qui produit les intermittences des radiations doit changer.

Il ne s'agit plus en effet, alors, d'interrompre un rayon suivant une loi périodique et régulière, par exemple en lui faisant traverser les ouvertures d'une roue tournant rapidement ([2]) : il faut faire varier l'intensité du faisceau radiant suivant une loi très complexe, comme l'est la forme de l'onde aérienne produite par la voix articulée.

On y parvient, comme l'a indiqué M. G. Bell dans son photophone à sélénium, en faisant réfléchir le faisceau radiant sur un miroir plan très mince déformé par la voix d'un observateur parlant derrière lui. On peut disposer cet appareil, que nous nommerons *transmetteur*, de la manière suivante (*fig.* 1).

Fig. 1.



T est une sorte de cornet acoustique en bois ou en laiton. L'une des embouchures E sert à parler : on y applique la bouche. L'autre est fermée d'abord par une lame de verre argentée P, de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{20}$ de millimètre d'épaisseur, puis par une membrane très mince *p*, en mica ou en caoutchouc. Entre les deux se trouve une sorte de petit réservoir d'air *r*. Cette disposition très simple permet de placer à l'intérieur la face argentée de la lame P, ce qui assure sa conser-

([1]) La Note dans laquelle je faisais connaître ce résultat a été présentée à l'Académie des Sciences le 9 mai 1881. Un Mémoire de M. G. Bell, présenté le même jour, montre qu'il avait atteint le même résultat, à Washington, à l'aide de la lumière solaire seulement.

([2]) *Voir* t. X, p. 56, du *Journal de Physique*; 1881.

Digitized by Google

vation, de régulariser les vibrations produites par la voix et d'éviter la rupture de la lame P sous l'influence des mouvements brusques qui résultent quelquefois de l'articulation de quelques consonnes.

Ce récepteur est porté sur un pied en laiton très lourd, muni d'une articulation à genou et d'une glissière verticale, de façon à pouvoir aisément donner à la lame P une direction quelconque.

Le faisceau radiant est projeté sur ce récepteur et réfléchi par lui dans une direction convenable. Comme la lame mince P ne peut pas être plane et que son encastrement la déforme toujours un peu, le faisceau réfléchi est, de ce fait, étalé en forme de cône irrégulier. Quand on parle en E, ce faisceau varie à chaque instant de grandeur et d'intensité, ainsi qu'il est facile de le constater en le recevant sur un écran à quelques mètres de distance ; ces variations correspondent aux déformations de la lame P produites par la voix.

Avant de recevoir le faisceau sur le thermophone qui sert de récepteur, il est nécessaire de le concentrer. On se sert, à cet effet, soit d'une grande lentille achromatique, soit d'un miroir sphérique ou parabolique, au foyer desquels on place le thermophone.

Voici, du reste, les dispositions pratiques qu'on peut, suivant les cas, donner à l'appareil.

I. *Emploi du Soleil comme source de radiations.* — En ce cas, la grande difficulté inhérente à ce genre d'expériences disparaît en grande partie. Cette difficulté consiste en ce qu'il ne faut pas entendre directement la voix de la personne qui chante ou parle dans le transmetteur T, d'où la nécessité d'éloigner suffisamment le transmetteur du récepteur.

Le parallélisme naturel des rayons solaires permet de les recevoir directement sur le transmetteur et diminue la difficulté, car on peut faire, suivant les besoins, réfléchir une ou deux fois le faisceau lumineux sur des miroirs plans sans altérer le parallélisme et tout en lui laissant une intensité suffisante pour produire le phénomène radiophonique.

Si l'on opère en rase campagne, l'opérateur qui parle dans le transmetteur reçoit directement les rayons solaires et les dirige constamment sur le récepteur pendant qu'il parle. Je laisse de côté ce cas-là, qui offre peu d'intérêt pour le moment, et j'examine

Digitized by Google

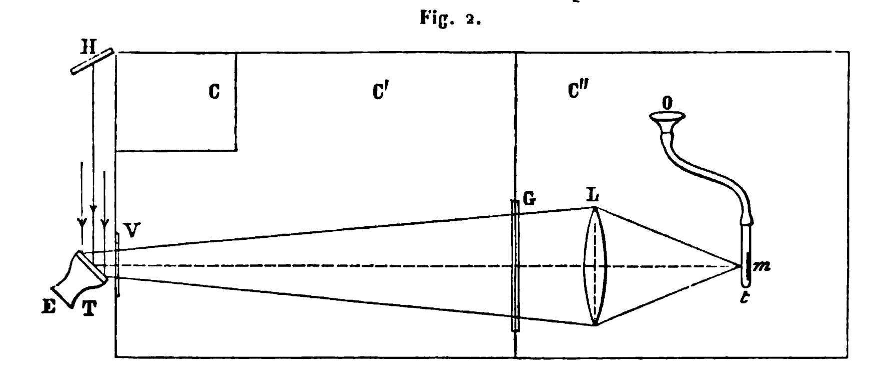
le cas qui se présente quand on veut étudier les phénomènes dans un laboratoire.

En décrivant les dispositions que j'ai pu prendre dans le mien, on verra ce qu'il est possible de faire à cet égard. La *fig.* 2 les représente.

C' est une chambre renfermant un cabinet noir C et fermée d'un côté par une porte vitrée V, de l'autre par une porte dont le panneau est formé par une glace sans tain G et qui sépare la chambre C' de la chambre C''. La distance entre V et G est d'environ 8^m.

Le transmetteur T est placé sur une terrasse, en dehors de la chambre C'; il reçoit les rayons solaires par l'intermédiaire d'un héliostat. Sa lame vibrante est circulaire, et elle peut avoir de 0^m,050 à 0^m,100 de diamètre. M. Duboscq, qui construit mes appareils de radiophonie, m'en a fait une de 0^m,105 de diamètre, qui fonctionne très bien; mais un diamètre de 0^m,050 suffit.

Fig. 2.



Le faisceau solaire réfléchi traverse la chambre C', la glace G, et vient tomber en partie sur une lentille L achromatique de 0^m,16 environ de diamètre ou sur un miroir en verre argenté du plus grand diamètre possible, afin de recueillir, si l'on peut, tout le faisceau réfléchi, dont les dimensions sont d'autant plus grandes qu'on est plus éloigné.

Au foyer de la lentille ou du miroir on place le thermophone récepteur. Après avoir essayé toutes les formes de récepteurs thermophoniques que j'ai déjà décrites [1], je me suis arrêté au

[1] *Séances de la Société de Physique*, année 1880, p. 184; 1881, p. 38.

Digitized by Google

suivant, qui donne, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande intensité aux sons reproduits. C'est un petit tube de verre *t* de $0^m,060$ à $0^m,070$ de longueur, de $0^m,008$ à $0^m,010$ de diamètre, renfermant une mince lame de mica *m* enfumée sur ses deux faces à l'aide d'une lampe à pétrole fumeuse. Un tube en caoutchouc relie le tube *t* à un cornet acoustique O qu'on applique à l'oreille.

Ce thermophone, extrêmement simple, est fixé sur un support quelconque, de façon que le foyer lumineux se trouve sur la lame enfumée. On peut ainsi tenir d'une main le cornet O appliqué contre une oreille et boucher l'autre avec la seconde main. On peut aussi prendre pour thermophone un tube ouvert et relier symétriquement les deux ouvertures aux deux oreilles, ce qui présente quelque avantage quand les sons produits sont assez intenses.

Dans ces conditions, on peut parler à haute voix en T; la voix ne s'entend pas directement en O, à environ 15^m de distance. Mais, si l'on porte à l'oreille le cornet O, on observe les phénomènes suivants.

Si le ciel est pur et le Soleil chaud, c'est-à-dire si, après la réflexion des rayons solaires sur le miroir de l'héliostat H et sur la lame argentée du transmetteur, et leur réfraction à travers les vitres V, G et la lentille L, on éprouve, en mettant la main au foyer, une impression assez vive de chaleur, on entend la reproduction complète et véritablement merveilleuse des paroles articulées en T. En faisant lire à la personne qui parle un texte qu'on ne connaît pas, on suit très bien la lecture. L'articulation est nette ; le timbre est si peu altéré, que l'illusion est complète : on croit entendre parler *directement* à distance. On peut considérer cela, je crois, comme une nouvelle preuve que, dans le thermophone décrit, c'est l'air qui vibre, et non le noir de fumée et le mica qui le supporte : une colonne gazeuse, en effet, est seule susceptible de reproduire avec une telle perfection les inflexions si variées qui constituent la voix humaine articulée. Quant au chant, le thermophone le reproduit admirablement, ce qui s'explique sans difficulté, car le phénomène est alors beaucoup plus simple.

Si le Soleil est moins chaud, s'il est voilé légèrement, le chant et le timbre de la parole articulée sont toujours reproduits parfaitement, mais les articulations perdent leur netteté et la parole entendue dans le thermophone devient d'autant plus vague que la

Digitized by Google

radiation solaire est moins intense. J'ai eu l'occasion d'observer plusieurs fois l'affaiblissement graduel de la netteté de ce phénomène quand le Soleil est graduellement voilé par des nuages légers, qu'on ne voit souvent même pas.

Il en résultera une grande difficulté pour observer ces faits et les étudier d'une manière continue dans les pays du Nord, où le ciel n'est pas très pur.

Pour éviter cet inconvénient, j'ai dû chercher à me servir d'autres sources que le Soleil, et, grâce à la sensibilité du thermophone, j'ai déjà pu obtenir les résultats suivants.

II. *Emploi de sources radiantes artificielles.* — Pour arriver à un résultat avec des sources de ce genre, j'ai commencé par laisser de côté toute considération de distance entre le point où la voix se produit et celui où elle est reproduite, sauf à y revenir plus tard, s'il est possible d'arriver à utiliser ces phénomènes pour l'établissement de communications à grande distance. Alors le problème se simplifie un peu.

On peut songer à rapprocher la source et le transmetteur du récepteur, afin de mieux concentrer le faisceau réfléchi sur le thermophone ; mais il en résulte aussi la nécessité d'éloigner la personne qui parle du transmetteur, sans quoi l'on risque d'entendre directement sa voix.

Pour cela j'ai profité des propriétés des tuyaux acoustiques, qui peuvent transporter la voix à des distances assez grandes avec une intensité remarquable. Je me suis assuré que, en ajustant à l'embouchure du transmetteur un long tuyau de caoutchouc de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre intérieur, on pouvait, même à une distance de 10^m et plus, faire vibrer vivement la lame mince en verre.

Pour m'en assurer, j'ai refait l'expérience dont le dispositif est représenté dans la *fig.* 2, de la manière suivante. Au lieu de parler directement à l'embouchure E du transmetteur, on a relié cette embouchure à un tuyau de caoutchouc aboutissant au cabinet C, après avoir traversé la porte vitrée V et la paroi du cabinet, dans lequel on a pu parler à travers un tuyau de 5^m à 6^m de longueur. L'expérience réussit très bien dans ces conditions, et elle se trouve ainsi simplifiée, car il suffit d'avoir à l'extérieur de la chambre C' un support où placer le transmetteur et l'héliostat.

Digitized by Google

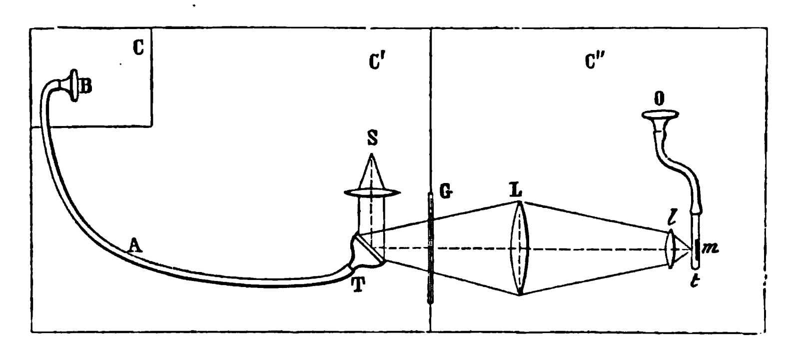
J'ai pu alors essayer l'emploi de la lumière électrique.

La *fig.* 3 indique la première disposition, qui m'a donné de bons résultats. Les lettres communes aux *fig.* 2 et 3 représentent les mêmes objets. On voit de plus, sur la *fig.* 3, la source électrique S émettant des rayons que la lentille *l* rend parallèles. Le transmetteur est relié au cornet B, dans lequel on parle, par un long tuyau de caoutchouc A. La distance entre le transmetteur et la lentille L est d'environ $1^m,50$: *l'* est une lentille de $0^m,03$ environ de distance focale, servant à concentrer les rayons sur une surface aussi petite que possible de la lame enfumée du thermophone *t*.

On entend alors dans celui-ci le chant avec une grande perfection; mais l'articulation de la parole est un peu vague.



Fig. 3.



En essayant de changer les distances relatives des éléments de l'appareil, j'ai remarqué qu'on perdait plus à les rapprocher qu'à les éloigner. Un faisceau de rayons électriques, concentré de façon à brûler la main au foyer d'une lentille ou d'un miroir, donne des résultats plus que médiocres. Il y a là une limite qu'il ne faut pas dépasser.

On peut s'en rendre compte en remarquant que l'effet est produit, en somme, par les variations d'intensité du faisceau, et qu'il dépend du rapport de ces variations à l'intensité en quelque sorte *statique* du faisceau ; si celle-ci est trop grande, il se peut que le rapport soit trop petit pour que les effets correspondants aient une netteté suffisante. On conçoit donc qu'on puisse obtenir de meilleurs résultats pour une variation égale d'intensité en

Digitized by Google

valeur absolue, quand l'intensité elle-même est faible, que lorsqu'elle est plus grande.

C'est ce que l'expérience m'a nettement indiqué, si bien que j'ai pu transporter la source S et le transmetteur T dans le cabinet C (*fig.* 3), et, par une porte vitrée qui ferme ce cabinet, envoyer le faisceau réfléchi sur la lentille L, à travers la glace sans tain G, à la distance indiquée par les *fig.* 2 et 3, c'est-à-dire à environ 10^m du transmetteur. La reproduction des articulations de la parole est devenue meilleure.

Les observations que je donne ainsi avec détails, pour éviter aux personnes qui voudraient répéter ces expériences les tâtonnements auxquels j'ai dû me livrer d'abord, je les ai refaites en substituant à la lumière électrique la lumière oxyhydrique, produite à la manière ordinaire. En plaçant la lentille de concentration à 6^m environ du transmetteur, on obtient les mêmes résultats qu'avec la lumière électrique.

De nouveaux essais non encore terminés me permettent d'espérer les obtenir avec des sources encore plus faibles.

SÉANCE DU 3 JUIN 1881.

PRÉSIDENCE DE M. GERNEZ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. le Dr GILLET DE GRANDMONT, secrétaire général de la Société de Médecine pratique.

M. Laurent s'est servi, pour reproduire les effets des miroirs magiques japonais, de miroirs de verre ; il en expérimente un certain nombre devant la Société.

M. Laurent répète ces expériences avec des miroirs qui ont jusqu'à $0^m,07$ d'épaisseur, avec des morceaux de spath, etc.

M. Laurent présente en outre un appareil pour montrer et me-

Digitized by Google

surer en projection les plans de polarisation du polarisateur, de l'analyseur et de la lame cristalline. L'appareil se compose de deux parties concentriques : au milieu se produisent les phénomènes de polarisation, comme d'habitude; autour est une partie annulaire comprenant un cadran transparent divisé, qui est projeté sur le tableau; des index fixés aux montures qui portent l'analyseur, le polariseur et le cristal, se projettent sur ce cadran et indiquent à chaque instant les positions des diverses pièces.

M. Mercadier donne quelques détails de plus sur les expériences de la reproduction radiophonique de la parole, dont il a déjà parlé dans la dernière séance. Son appareil transmetteur se compose d'un miroir très mince fixé sur une monture communiquant à une embouchure dans laquelle on parle. Les rayons sont renvoyés sur un récepteur formé d'un tube de verre contenant une lame quelconque couverte de noir de fumée; avec un soleil bien chaud, la reproduction est bien nette; avec un soleil voilé ou des sources moins intenses, l'articulation perd sa netteté; les sons musicaux se transmettent toujours très bien.

M. Mercadier revenant ensuite aux méthodes qui font intervenir une pile a étudié les récepteurs à sélénium. Il a essayé divers métaux : sur l'aluminium, le sélénium n'adhère pas, l'argent est attaqué très rapidement; avec le platine, le fer, le cuivre, le laiton, on obtient des résultats également bons; l'épaisseur de la couche de sélénium et sa résistance ne paraissent avoir aucune influence.

Si l'on mesure la résistance de ces récepteurs en faisant varier leur température, on voit que cette résistance augmente d'abord avec le temps, puis tend vers une limite atteinte au bout d'un temps variable. Elle diminue de 0 à 125°, puis augmente pour présenter un maximum vers 163°, et redescendre ensuite jusqu'à 210°. Ces résultats sont entièrement conformes à ceux que M. Werner Siemens a obtenus sur des fils de sélénium.

Digitized by Google

Miroirs magiques en verre argenté; par M. Léon Laurent.

M. Bertin a fait connaître à la Société de Physique (séance du 21 mai 1880) les miroirs magiques japonais, ainsi que ceux qu'il a faits en collaboration avec M. J. Duboscq.

Dans les premiers, l'effet magique est irrégulier et n'existe pas toujours; M. Govi les rendait très magiques en les dilatant par la chaleur ([1]). Dans les derniers, l'effet magique n'existe pas, mais on le produit très sûrement en les dilatant au moyen de la pression de l'air : c'est plus régulier; le perfectionnement est très important.

Tous ces miroirs sont en métal; j'ai pensé à utiliser le verre, qui est, en effet, assez élastique et sensible aux effets de la chaleur; ces deux propriétés sont même gênantes pour les opticiens quand ils cherchent à faire de bonnes surfaces optiques; j'ai cherché à tirer parti de ces deux propriétés dans l'application aux miroirs magiques.

Je suis arrivé ainsi à deux séries distinctes de miroirs magiques en verre argenté :

1° Les miroirs *comprimés* et les miroirs *courbés,* à creusures, qui sont un perfectionnement des miroirs métalliques;

2° Les miroirs d'épaisseurs et de formes quelconques, planes, concaves et convexes, chauffés d'une manière particulière. Ils sont nouveaux.

I. *Miroirs comprimés.* — J'ai essayé d'abord le verre moulé du commerce, avec des saillies ; il a réussi, mais il fallait l'amincir, ce qui était dispendieux; il n'était pas d'égale épaisseur et se dilatait inégalement ([2]).

J'ai pris ensuite des glaces minces du commerce, ayant $0^{m},001$ d'épaisseur et j'y ai fait graver des dessins d'épaisseur égale; ces glaces à creusures sont plus flexibles que les verres à saillies.

Le verre est ensuite argenté sur la face plane, et l'argenture polie.

([1]) *Annales de Chimie et de Physique,* mai 1880.

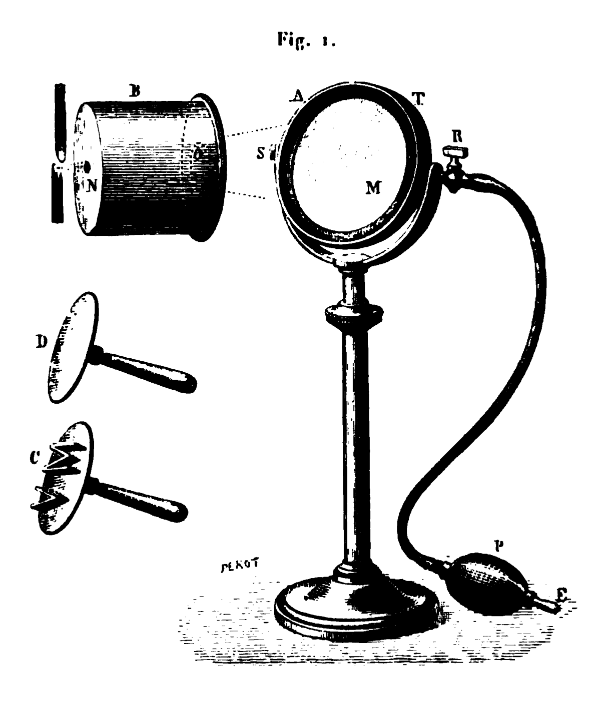
([2]) Ces essais ont été faits, pour la première fois, à l'École Normale, devant M. Bertin, le 19 février 1881. L'emploi du verre n'avait pas encore été indiqué.


Digitized by Google

Le support est très simple ; il se compose d'un tambour T (*fig.* 1) à fond plein, fermé par le miroir élastique M ; ce dernier repose sur un anneau de caoutchouc qui est serré par l'anneau A.

Le tambour T est fixé sur une colonne au moyen de deux tourillons R, S ; l'un est creux et relié à une poire en caoutchouc. On peut comprimer et déprimer, soit en prenant la poire, soit avec la bouche. Il suffit de très peu d'efforts.

Fig. 1.



On emploie la lumière divergente, au moyen de la bonnette B. Les images sont les plus nettes quand le point lumineux est petit et placé loin du miroir, à 2^{m} environ ([1]).

Quand on augmente la pression, l'ensemble du miroir M devient notablement convexe ; on s'en aperçoit sur l'écran, car le champ éclairé s'agrandit beaucoup ; les parties minces correspondant aux creux de la gravure résistent moins, deviennent plus convexes,

([1]) *Voir* ma Brochure spéciale.

Digitized by Google

dispersent davantage la lumière, et la gravure est reproduite en *noir*. Quand on diminue la pression, le miroir devient concave, le champ est beaucoup diminué.

Les parties minces résistent moins, deviennent plus concaves, concentrent plus la lumière, et la gravure est reproduite en *blanc*.

Ces miroirs sont très élastiques, le verre suit tous les mouvements de l'air et les images noire et blanche peuvent se succéder rapidement et ressortent davantage par leur contraste. En regardant la surface du miroir, on la voit se soulever et s'abaisser.

Miroirs courbés. — On peut rendre les miroirs à creusures magiques temporairement et aussi longtemps qu'on le désire, par un procédé très simple et qui n'a pas encore été employé.

Soient un anneau fixé à une colonne et un second anneau se vissant dans le premier et serrant un miroir à creusures. La partie annulaire de serrage est convexe pour l'un et concave pour l'autre; toutes les deux ont le même rayon, qui est égal à 2^m.

Si l'on serre le miroir il se courbera, et les parties minces se courberont davantage; suivant que l'argenture sera tournée d'un côté ou de l'autre, on aura un miroir concave ou un miroir convexe, donnant une image blanche ou noire : on aura donc à volonté les deux sortes d'images; le miroir sera réellement magique et le restera tant qu'on ne touchera pas à l'anneau de serrage. On réalise ainsi des miroirs qui sont magiques sans qu'on ait à y toucher, ce que l'on n'a pas encore obtenu avec les miroirs métalliques.

Miroirs à creusures chauffés. — On peut, avec ces miroirs, répéter l'expérience de M. Govi, qui consiste à chauffer un miroir métallique dans son ensemble avec un fourneau ou un bec de gaz, pour le rendre plus magique par la dilatation.

Il suffit de poser un instant, sur la partie argentée du miroir, un disque en cuivre rouge à peine chaud; cette face se dilate immédiatement et le miroir devient convexe, les parties minces se dilatent davantage et l'on obtient une belle image noire. L'expérience se fait ainsi très simplement et sans détériorer la surface polie.

On peut, en outre, continuer l'expérience et la varier; ainsi, si

Digitized by Google

l'on applique le disque chaud sur l'autre face, on échauffe le miroir entièrement, il redevient plan et cesse d'être magique quoique chaud. Enfin, si l'on applique alors un autre disque de cuivre, mais froid, sur la partie argentée, cette face se contractera, le miroir deviendra concave et donnera alors une image blanche.

II. *Miroirs chauffés*. — Soit une glace argentée du commerce de $0^{m},004$ environ d'épaisseur; je prends un cliché C (*fig.* 1), avec deux initiales, par exemple, et je le chauffe jusqu'à ce qu'il pique un peu, mais de manière à pouvoir encore le toucher; je l'applique sur la partie argentée et, immédiatement, les lettres sont reproduites sur l'écran en *blanc* et avec une grande netteté.

La glace s'est échauffée, je remplace ce cliché par un autre, à la température ambiante ou froid : il se reproduit alors en *noir*. Je remets le premier cliché réchauffé, s'il y a lieu, et son image est blanche. Si l'on place les deux clichés, un *chaud* et un *froid*, l'un à côté de l'autre, on a les deux images, *blanche* et *noire*. On peut ensuite intervertir leurs places et par suite leurs images,

Si l'on emploie des glaces avec *argenture Foucault*, on peut rendre la démonstration plus complète. On tourne la partie argentée du côté de l'écran, on applique le cliché chaud, on le retire vivement pour apercevoir l'image et l'on voit qu'elle est noire; en effet, la partie chauffée est convexe, elle est tournée vers l'écran, elle doit donner du *noir*; l'image est fugitive, mais on a encore le temps de bien constater le phénomène.

Ces expériences sont très nettes, très vives; les images sont assez nettes pour reproduire les détails d'un texte. Il est évident, d'ailleurs, que l'effet produit est indépendant de l'épaisseur de la glace.

La théorie reçoit de ces faits nouveaux une confirmation nouvelle; il est évident, en effet, que le cliché chaud dilate les parties touchées et détermine des bosses; le cliché froid sur la glace chaude détermine des creux. On crée ainsi artificiellement des bosses et des creux, on connaît très-bien le sens des courbures et l'on peut prévoir, à coup sûr, si l'on aura une image blanche ou noire.

On peut encore reproduire ces effets d'une manière plus simple en interposant entre le miroir et un disque chaud une feuille de

Digitized by Google

papier ou une carte présentant des découpures; celles-ci se reproduisent en blanc sur l'écran.

Miroirs sphériques. — Le miroir concave donne lieu à ce fait curieux que l'image blanche, pour une certaine distance à l'écran en avant du foyer, change de signe et devient noire quand l'écran est placé au delà. Cet effet, analogue à celui qui a été observé par Foucault dans les miroirs à surface irrégulière, s'explique par les mêmes considérations. On peut le reproduire avec les miroirs plans, à la condition, comme l'a fait M. Govi, d'interposer une lentille convergente, à distance convenable, entre le miroir et l'écran.

Demi-argenture Foucault. — On peut obtenir à la fois des images réfléchies ou réfractées, en employant soit des glaces planes, soit des lentilles, dont une des faces a reçu une couche d'argent très mince et transparente. Avec une glace plane, si l'argenture est opposée à l'écran, les deux images données par l'application d'un cliché chaud sont blanches; si l'on tourne la face argentée du côté de l'écran, l'image réfractée est toujours blanche, mais l'image réfléchie est noire. Avec une lentille convergente de $0^m,30$ à $0^m,40$ de distance focale, et dont la face argentée est tournée du côté de l'écran, l'image réfractée est blanche entre la lentille et le foyer et noire après; si l'on retourne la lentille, on ne change pas le sens de l'éclairement. Tous ces effets s'expliquent d'eux-mêmes. Ces dernières expériences sont beaucoup plus délicates que celles qui ont été décrites en premier lieu.

SÉANCE DU 17 JUIN 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 juin est lu et adopté.

M. le Président annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique vient d'offrir à la Société les Ouvrages suivants : *Œuvres*

Digitized by Google

de Verdet; La Pression barométrique, par P. Bert; *L'Éclairage électrique,* par Du Moncel; *Analyse au chalumeau,* par Cornwell.

M. Pernet expose le résultat de ses recherches sur la mesure des températures au moyen du thermomètre à mercure.

M. le colonel Goulier fait remarquer que les phénomènes décrits par M. Pernet sont tout à fait d'accord avec ceux qu'il a observés en étudiant les variations des baromètres anéroïdes.

M. Pellat communique le résultat de ses recherches sur la décharge d'un condensateur.

Sur une observation de M. Mascart, M. Pellat et M. Bréguet font remarquer que dans les bobines de résistance employées, les fils étant enroulés en double, il n'y a pas de courants d'induction produits.

Sur la mesure des températures au moyen du thermomètre à mercure; par M. Pernet.

Toute mesure de température devrait rigoureusement se faire avec le thermomètre à air; mais, dans la plupart des cas, on a recours au thermomètre à mercure, dont l'usage est beaucoup plus simple. Quand il s'agit de mesures précises, par exemple, pour déterminer des coefficients de dilatation, le thermomètre à mercure ne peut être considéré que comme un intermédiaire, et ses indications doivent être finalement ramenées à celles du thermomètre à air. Mais il est évident que, pour arriver à une comparaison exacte entre le thermomètre à air et le thermomètre à mercure, il faut que les indications de celui-ci soient avant tout rendues comparables à elles-mêmes.

On a pensé jusqu'à présent que ce dernier problème était insoluble, et la plupart des auteurs considèrent le thermomètre à mercure comme très défectueux et peu digne de confiance, à cause de la variabilité de ses indications. Il me semble qu'on a exagéré ces défauts, et que les divergences et les irrégularités qu'on a constatées tiennent principalement à ce qu'on ne s'est pas astreint, en

Digitized by Google

général, à se servir de cet instrument d'une façon suffisamment régulière et systématique. Il y a surtout deux points sur lesquels il faudrait se mettre d'accord :

1° Que faut-il adopter comme représentant la valeur du degré, sur le thermomètre à mercure?

2° Comment doit-on tenir compte des variations des points fixes?

Je rappellerai d'abord quelques faits connus depuis longtemps relatifs à ces déplacements; j'indiquerai ensuite en quelques mots les résultats que j'ai obtenus en reprenant l'étude de ces phénomènes [1].

On sait que le verre ne revient pas immédiatement à son volume primitif pour une température donnée, après avoir été porté pendant quelque temps à une température plus élevée. Un retard d'élasticité le ramène peu à peu à son volume primitif. Le déplacement lent des points fixes provient surtout de la disparition graduelle du résidu de dilatation produit par la haute température à laquelle le thermomètre a été porté lors de sa construction. Ce mouvement ascendant est relativement rapide dans les premiers temps qui suivent la construction de l'instrument, et diminue ensuite peu à peu.

Si le thermomètre est maintenu à une température constante, le déplacement du zéro peut être représenté par une fonction exponentielle, analogue à celle qui correspond au retard d'élasticité produit par un allongement ou par une torsion de courte durée. Mais cette fonction devient en général plus compliquée, à cause des variations de température auxquelles le thermomètre est nécessairement exposé pendant les expériences auxquelles on l'emploie; car la vitesse avec laquelle le zéro se déplace croît avec la tempé-

---

[1] Pour l'historique et les détails, je renvoie aux publications suivantes :

1° *Ueber die Abhängigkeit der Nullpunktsdepressionen von der Temperatur* (*Repertorium für Experimental-Physik* von Carl, T. XI, p. 257; Munich, 1875).

2° *Rapport au Comité international des Météorologistes* (*Ueber die Bestimmung der Fixpunkte der Quecksilbernormalthermometer und die Messung der Temperaturen*; Leipzig, 1879).

3° *Sur les moyens d'éliminer dans l'évaluation de la température l'influence de la variation des points fixes des thermomètres à mercure* (*Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, T. I; Paris, 1881).

Digitized by Google

rature. A ce mouvement ascendant se superposent encore les variations temporaires, dues aux températures auxquelles le thermomètre est exposé.

M. Wild et M. Berthelot ont remarqué les premiers que, pendant l'opération de la détermination du point 100°, celui-ci descend jusqu'à une position fixe qu'il n'atteint qu'au bout de 15 à 30 minutes. En intercalant des déterminations du zéro déprimé, M. Wild a démontré que les deux points tendent en même temps vers leurs limites et que le point zéro ne devient constant que lorsque le point 100° l'est devenu également. Les variations du point 100° qu'on peut observer atteignent rarement 0°,1 C.; elles paraissent donc beaucoup plus petites que celles que subit le zéro après un long repos. Mais les observations du point 100° et celles du zéro ne se font pas dans les mêmes conditions. On peut bien déterminer le zéro après un long repos du thermomètre, c'est-à-dire sans que celui-ci ait été exposé, par exemple depuis un an, à une température élevée, mais il n'en est pas de même pour la détermination du point 100°, où il faut nécessairement exposer l'instrument à cette température. Cet échauffement suffit pour produire les phénomènes du retard d'élasticité, même quand on agit aussi promptement que possible.

Il est donc évident qu'on ne peut pas comparer les variations du point 100° avec celles du zéro après un long repos. Au contraire, les observations du point 100° sont seulement comparables avec celles du point zéro pris immédiatement après. Cela a déjà été prouvé par Regnault, M. I. Pierre et M. Berthelot, qui tous étaient d'avis que la distance des points abaissés ou déprimés est beaucoup moins variable que celle des points non déprimés. Ils ont choisi par conséquent pour distance fondamentale l'intervalle compris entre ces points déprimés.

Par de nombreuses observations, je suis arrivé a démontrer que cette distance fondamentale, déterminée avec soin, est constante dans les limites des erreurs d'observation (c'est-à-dire pour des thermomètres de premier ordre, à 0°,01 C. près environ), même dans le cours des années, si l'on n'expose pas le thermomètre à des températures supérieures à 100°.

Ce résultat a été confirmé par la discussion d'un grand nombre d'observations précises faites par différents physiciens.

Digitized by Google

On doit donc suivre l'exemple donné par les savants que je viens de nommer, et adopter la définition qu'ils ont donnée du degré, *qui doit être la centième partie de l'intervalle compris entre les points fixes déprimés.*

Malheureusement beaucoup de physiciens ont encore l'habitude de choisir comme distance fondamentale l'intervalle entre le point 100° et le zéro déterminé à un moment quelconque et même après un long repos du thermomètre. Or la différence entre le zéro déprimé pour 100° et le zéro après un long repos est en moyenne de 0°,5 C. environ pour d'anciens thermomètres en verre. Par conséquent, la valeur du degré déduite des points fixes après un long repos sera, dans ce cas, trop petite de 0,5 pour 100. Les températures calculées seront, de ce chef, nécessairement trop hautes. *On voit donc que la différence de marche des thermomètres ne provient pas seulement de la différence dans la marche de la dilatation du cristal et du verre de soude, mais surtout de la manière de calculer les températures.* Celles-ci ne sont donc pas immédiatement comparables. En général, elles ne le deviennent pas même par la comparaison avec le thermomètre à air, à cause de la manière défectueuse dont on a généralement tenu compte des variations du zéro qui se produisent pendant les observations. Il ne suffit même pas de comparer les thermomètres d'une manière analogue à celle dont on s'est servi pendant les observations, *car les variations du point zéro dépendent non seulement des températures auxquelles le thermomètre est exposé au moment de l'observation, mais encore de celles qui l'ont précédée et de leur marche.* C'est pourquoi on a cru que les variations du zéro étaient tout à fait irrégulières. En les étudiant de près, en tenant compte du temps qui joue un rôle prépondérant dans tous les phénomènes du retard d'élasticité, on arrive cependant à établir quelques lois très utiles pour le maniement des thermomètres.

Si, après avoir déterminé le point zéro après un long repos du thermomètre, on porte celui-ci à une température donnée pendant 5 minutes, puis pendant 10 minutes, et ainsi de suite, en intercalant des observations du zéro, on trouve que celui-ci s'abaisse, d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement, et qu'il finit par arriver à un maximum de dépression pour chaque température. Ce maximum n'est atteint pour les basses températures qu'au

Digitized by Google

bout de plusieurs heures, tandis que pour les températures élevées une exposition relativement courte suffit.

Dans l'intervalle de 0° à 100°, ces maxima de dépression sont sensiblement proportionnels aux carrés des températures. Mon collègue, M. Marek, a été conduit plus tard, mais indépendamment de moi, par des études analogues, au même résultat.

La dépression pour 100°C. des thermomètres en cristal tend vers la limite inférieure de 0°,2C., tandis que celle des thermomètres allemands peut atteindre jusqu'à 0°,8 C.

Un fait, à première vue paradoxal, mais d'accord avec les résultats fournis par l'étude de l'élasticité (*voir* G. Wiedemann, *Annales de Wiedemann,* t. VI, 1879), consiste en ce que le zéro acquiert, même par un repos relativement court et surtout par un refroidissement lent, la faculté de subir dans certaines limites de nouvelles dépressions. La position du zéro ne dépend donc pas uniquement de la température à laquelle le thermomètre a été exposé : elle dépend encore de la voie par laquelle il est arrivé à sa position actuelle.

Si, après avoir été chauffé, le thermomètre est maintenu à la température 0°, le point zéro remonte assez lentement. Ce mouvement ascendant est d'autant plus accentué que la température à laquelle le thermomètre a été exposé a été plus élevée. On peut l'accélérer davantage par un refroidissement lent; toutefois il reste beaucoup plus lent que le mouvement descendant.

Ces faits nous permettent de renfermer dans des limites étroites les variations du point zéro pendant une série d'observations, même pour les thermomètres où la dépression du zéro est très forte; car si l'on a étudié les variations du zéro d'un thermomètre, il suffit de porter cet instrument pendant quelques minutes à une température donnée pour abaisser le zéro d'une quantité telle que pendant les observations sa variation soit très petite et en tout cas proportionnelle au temps. De cette façon on peut maintenir, pendant des heures entières, constant à quelques centièmes près, le zéro d'un thermomètre qui, sans ces précautions, aurait subi des variations de quelques dixièmes de degré dans le même intervalle de temps.

Dans le cas où l'on ne peut déterminer directement le minimum z_t du zéro, on peut le calculer avec une approximation assez

Digitized by Google

grande, d'après la loi du carré que nous avons indiquée plus haut. On aura

$$z_t = z_0 - (z_0 - z_{100}) \frac{t^2}{100^2},$$

où z_0 représente le zéro observé après un repos assez long du thermomètre, z_{100} le point zéro pris immédiatement après le point 100°, et t la température à laquelle le thermomètre a été exposé longtemps pendant les observations.

Cette formule peut être utile dans le cas où la disposition de l'appareil exige que les thermomètres servent à mesurer plusieurs températures sans être dérangés. Cependant il sera toujours plus sûr de déterminer directement les minima du zéro quand on pourra disposer librement de son thermomètre. Cette détermination est du reste extrêmement facile. Il suffit de refroidir le thermomètre aussi vite que possible (toutefois avec prudence) jusqu'à la température ambiante, de le plonger ensuite dans la glace et de noter la position la plus basse que le zéro atteint au bout de quelques minutes. Ce minimum donne immédiatement la correction à employer.

Pour calculer la température qui correspond à une lecture quelconque, corrigée bien entendu des erreurs de calibre, etc. [1], *on n'a donc qu'à soustraire le zéro actuel, déterminé ou calculé comme nous venons de le dire, et à multiplier par la valeur du degré, en adoptant pour celui-ci la définition déjà indiquée.*

Si, par ces procédés et ce mode de calcul, on parvient en effet à éliminer l'influence des variations des points fixes, les thermomètres sensiblement de même verre, mais traités différemment, de sorte que les variations du zéro soient très différentes, doivent concorder néanmoins dans les limites des erreurs d'observation. Pour faire cette vérification, j'ai comparé, avec l'aide de M. le

---

(1) *Voir* à ce sujet :

M. Thiesen, I. *Ueber das Kalibriren von Thermometern* (*Repertorium für Experimental-Physik* von Carl, t. XV, p. 285; Munich, 1879); II. *Ueber das Kalibriren von Thermometern, insbesondere über die wahrscheinlichen Fehler der Kalibercorrectionen* (*ibid.*, p. 677).

M. Marek, *Ueber die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf die Kalibrirung der Thermometer* (*ibid.*, p. 300).

Digitized by Google

Dr Freund, quatre thermomètres qui avaient été étudiés soigneusement. Quelques jours avant ces observations, j'avais porté deux de ces instruments à 100°, afin de déprimer le zéro et de rendre ses variations aussi petites que possible. Au contraire, j'avais laissé, avant les comparaisons, les deux autres thermomètres dans la glace et je les refroidissais lentement, entre les séries d'observations, pour faire remonter leur zéro. Après les comparaisons à une température donnée, on déterminait le zéro déprimé et l'on calculait les températures comme je viens de l'indiquer.

Les écarts moyens des thermomètres, par rapport à la moyenne que l'on considérait comme la vraie température, se sont trouvés de 0°,01 C. Des différences de marche étaient à peine indiquées, et rentraient tout à fait dans les limites des erreurs d'observation, qui, pour ces thermomètres, peuvent être évaluées à ± 0°,015 C. environ.

Au contraire, les différences de marche se seraient élevées à 0°,15 C. pour 25° et à 0°,2 C. de 50° à 80°, si l'on avait calculé les températures en choisissant pour distance fondamentale l'intervalle entre les points fixes après un long repos. Alors les thermomètres dont on avait fait remonter le zéro auraient donné des indications plus hautes que ceux dont le zéro avait été déprimé avant la comparaison.

Ces observations, faites en 1875, étaient donc tout à fait concluantes et parlaient en faveur du procédé et de la méthode de calcul que je viens d'expliquer (1). Depuis, en employant les moyens plus précis et les appareils plus appropriés pour l'étude et la comparaison des thermomètres dont nous disposons au Bureau international des Poids et Mesures, mes collègues et moi, nous sommes arrivés à une exactitude encore plus grande.

De nombreuses comparaisons de thermomètres prouvent qu'en général ces instruments, même en verres différents, concordent à ± 0°,02 C. près dans tout l'intervalle de 0° à 100°, et que des

(1) Les mêmes principes doivent être appliqués à la mesure des températures dépassant 100°. Toutefois il sera nécessaire de tenir compte des variations de la valeur du degré qui se produiront à ces hautes températures, et de déterminer à nouveau la distance fondamentale. *Voir* à ce sujet les Notes de M. Crafts (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCI, p. 291, 370, 413, 574; 1880).

Digitized by Google

différences bien constatées de 0°,10 sont tout à fait exceptionnelles [1].

Décharge d'un condensateur et énergie des courants téléphoniques; par M. H. Pellat.

La décharge d'un condensateur demande un certain temps pour s'effectuer; ce temps, négligeable si le conducteur qui réunit les deux armatures a une faible résistance, devient de plus en plus grand avec la résistance de celui-ci.

Si l'on admet que la loi de Ohm est applicable au courant produit par la décharge d'un condensateur, c'est-à-dire qu'à chaque instant l'intensité du courant a pour valeur le quotient de la différence de potentiel des deux armatures par la résistance du circuit, on trouve la formule suivante,

$$Q = V_0 C\left(1 - e^{-\frac{T}{CR}}\right),$$

dans laquelle Q représente la quantité d'électricité écoulée dans le temps T, V_0 la différence de potentiel initiale des deux armatures, C la capacité du condensateur, R la résistance du circuit et e la base des logarithmes népériens.

Je me suis proposé de vérifier l'exactitude de cette formule, dans laquelle chaque grandeur peut être mesurée séparément.

Pour cela je chargeais et je déchargeais alternativement un condensateur ($\frac{1}{3}$ de microfarad) à l'aide d'un trembleur actionné par une sirène de Froment. Une dérivation prise sur un courant donnait la force électromotrice connue nécessaire à la charge. Malgré la faible durée de celle-ci ($\frac{1}{500}$ de seconde environ), la résistance du circuit de charge étant très faible, le condensateur était chargé à refus : j'entends par là qu'au bout de ce temps (et même bien avant) la différence de potentiel entre les deux armatures était la même qu'entre les deux points de prise de dérivation.

La décharge s'effectuait à travers le fil d'un galvanomètre à

---

[1] *Voir* également, à ce sujet, *Vergleichungen von Quecksilberthermometern*, mitgetheilt von Dr Max Thiesen (*Metronomische Beiträge*, herausgegeben von der kaiserlichen Normal-Aichungs-Kommission, n° 3. Berlin, 1881).



réflexion, gradué en valeur absolue, et à travers des résistances connues et variables à volonté (1).

A cause du grand nombre de décharges (cent environ par seconde), l'aiguille prenait une position fixe qui faisait connaître la quantité d'électricité passant dans le fil galvanométrique en une seconde.

La sirène réglait la durée du contact entre l'extrémité du fil conjonctif et l'une des armatures, l'autre communiquant d'une manière permanente avec la seconde extrémité du fil. Cette durée était de $\frac{1}{500}$ de seconde environ.

Dans ces conditions, je fis diverses observations en faisant varier la résistance du fil de décharge.

Pour des résistances au-dessous de 1000 ohms, la déviation de l'aiguille fut sensiblement constante, mais pour des résistances supérieures (2000, 4000, . . ., 8000 ohms) elle diminua de plus en plus, indiquant que la décharge n'avait plus le temps de s'effectuer complètement. La formule précédente s'est trouvée en parfait accord avec l'expérience (2). Ainsi la loi de Ohm s'applique aux décharges des condensateurs.

Cette formule montre que la décharge n'est complète que pour $T = \infty$; mais elle est sensiblement achevée dès que $\frac{T}{CR}$ est assez grand pour que $e^{-\frac{T}{CR}}$ ait une valeur négligeable ; par exemple, pour $\frac{T}{CR} > 8$, on a

$$e^{-\frac{T}{CR}} < \frac{3}{10000}.$$

La décharge est achevée à moins de $\frac{3}{10000}$: c'était le cas d'une expérience pour $R < 1000$ ohms.

---

(1) Dans les bobines de la boîte de résistance dont je me suis servi, les fils sont enroulés en double, de façon que dans toute portion de la bobine il y a côte à côte deux courants parallèles et de sens contraire : on évite ainsi, en grande partie, les effets perturbateurs dus à l'induction du courant sur lui-même.

(2) Le nombre des décharges par seconde et la durée de chaque contact, difficiles à déterminer directement, ont été déduits de deux expériences, en se servant de la formule ci-dessus : les valeurs trouvées ainsi ont été tout à fait de l'ordre de grandeur assignable *a priori* (d'après la hauteur du son produit), et elles ont permis de calculer les valeurs de Q pour d'autres conditions, valeurs tout à fait d'accord avec le résultat de l'expérience.

Digitized by Google

Pour avoir une même fraction de décharge, on voit qu'il faut que la durée T du contact varie proportionnellement à la capacité C du condensateur et à la résistance R du circuit; elle est indépendante de la différence de potentiel.

J'avais été amené à faire les recherches précédentes par suite de quelques expériences sur la sensibilité des téléphones. Je faisais parler un de ces instruments en lançant dans le fil la charge et la décharge d'un condensateur, à l'aide d'un trembleur analogue à celui dont il a été question plus haut.

Je remarquai que l'intensité du son était indépendante de la résistance du circuit quand celle-ci n'était pas trop considérable, mais qu'il n'en était plus ainsi pour des résistances supérieures à 1000 ohms; plus la résistance était grande, plus l'intensité du son s'affaiblissait, la charge et la décharge étant de plus en plus incomplètes.

Après avoir étudié la loi de ce phénomène, j'ai disposé les résistances de façon que la charge et la décharge fussent complètes; j'étais à même ainsi de connaître l'énergie électrique lancée dans le téléphone et dont une portion se transforme en son.

La faiblesse de l'énergie sonore est surprenante : ainsi ces expériences m'ont fait voir que l'énergie correspondant à une petite calorie, c'est-à-dire celle qui est abandonnée par 1^{gr} d'eau qui se refroidit de 1°, étant transformée en énergie électrique et convenablement lancée dans un bon téléphone, permettrait d'obtenir un son continu nettement perceptible, pendant dix mille ans. On peut juger par là de l'extrême délicatesse de l'oreille.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1881.

PRÉSIDENCE DE M. GERNEZ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Tacchini, directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

Digitized by Google

M. le Président annonce à la Société la perte que vient de faire la Science en la personne de M. Henri Sainte-Claire Deville et se fait l'interprète des douloureux regrets de la Société.

M. Angot offre à la Société le *Traité théorique et pratique des piles électriques* de M. Cazin, qu'il a annoté et publié.

M. Gillet de Grandmont expose les résultats de ses recherches sur la vision des couleurs.

Après avoir fixé longtemps une couleur, l'œil devient incapable de la percevoir, et si l'on remplace brusquement le champ coloré par un écran blanc, on le verra coloré de la teinte complémentaire. L'expérience est projetée devant la Société.

M. Gariel fait remarquer le rapport qu'ont certaines de ces expériences avec celles de M. Charpentier, et en signale l'importance au point de vue de la distinction des signaux colorés des chemins de fer.

M. Pellat indique qu'il y a dans la différence des champs périphériques pour les diverses couleurs un moyen de produire un daltonisme local.

M. Lippmann expose les conséquences que l'on peut déduire pour la théorie des phénomènes électriques du principe de la conservation de l'électricité traduit analytiquement.

Sur un procédé expérimental pour la détermination de la sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées; par M. Gillet de Grandmont.

Au point de vue de la vision des couleurs, l'œil ne conserve sa sensibilité que grâce à sa mobilité.

Supposons un instant tous les muscles de l'œil frappés de paralysie : la rétine, une fois impressionnée par un objet coloré, perdra, au bout de quelques secondes, la faculté de percevoir cet objet et restera en butte à des sensations subjectives mensongères.

Cette proposition découle de l'observation des faits.

Pour les rendre apparents avec toute leur netteté, il suffit

Digitized by Google

d'isoler la vision centrale, ou de fixation, de la vision périphérique, en immobilisant la tête de l'observateur et en lui faisant diriger son rayon visuel sur un point d'assez petite dimension pour que l'œil ne puisse se promener à sa surface.

Dans ces conditions, si l'on place un objet coloré de telle façon que les rayons émanés de sa surface aillent impressionner une portion de la rétine de l'observateur, celui-ci constate que ces rayons colorés, si lumineux qu'ils lui parussent au début, perdent peu à peu de leur éclat, pour s'éteindre définitivement. En moins d'une demi-minute, il ne voit plus l'objet qui lui est présenté.

Ainsi la rétine peut, dans certaines conditions, ne point apercevoir un corps dont les rayons viennent cependant l'impressionner. C'est là un fait de Physiologie d'une importance capitale.

Quand une portion de la rétine est ainsi frappée de cécité relative, la membrane sensible a-t-elle perdu son pourpre rétinien et par là la faculté de revoir l'objet qu'on lui présente? peut-elle recevoir d'autres impressions lumineuses? C'est ce qu'il importe d'établir.

Pour cela on fait passer, entre l'œil et l'objet non perçu, un écran de couleur autre que la couleur même de l'objet et l'on constate que l'objet réapparaît aussitôt. Il suffit donc de quelques secondes de repos pour rendre à la rétine sa sensibilité, sinon totale, du moins partielle ; en effet, en répétant l'expérience, on peut s'assurer que l'impression est de plus en plus fugitive.

De ce qui précède il faut conclure que, si le pourpre rétinien s'éteint promptement, il se régénère rapidement ; mais qu'il finit toujours par disparaître dans toute la portion de la rétine qui reste sous l'influence des rayons colorés. Mais si, reprenant l'expérience, on place à demeure, entre l'œil et l'objet coloré, un écran blanc, on voit apparaître sur celui-ci l'image de l'objet qui a impressionné la rétine, et la couleur de cette image est la complémentaire de la couleur primitive.

Ainsi, après avoir perçu tels ou tels rayons colorés, la rétine n'est plus susceptible de percevoir la totalité des rayons lumineux (lumière blanche) ; elle ne peut plus être impressionnée que par un certain nombre d'entre eux, les seuls rayons complémentaires de la première couleur perçue.

Digitized by Google

On peut en outre tirer cette conclusion, que si la rétine n'aperçoit pas tous les objets dont les rayons l'impressionnent, elle peut aussi percevoir l'image d'objets qui n'existent pas. Il est donc possible, comme cela arrive pour le nerf lingual, de faire naître à volonté dans l'œil des sensations subjectives, que l'on peut varier à son gré de forme et de couleur. Ce fait intéresse directement la Médecine légale.

Un petit instrument, qui rappelle les *pirouettes complémentaires* de M. Chevreul, permet de démontrer à toute une assemblée les faits ci-dessus; je l'ai désigné sous le nom de *chromatroposcope*.

Il consiste en un disque noir présentant des fenêtres derrière lesquelles on fait apparaître à volonté des surfaces colorées ou des surfaces blanches.

Si l'observateur immobilise sa fixation centrale en dirigeant le rayon visuel sur un point voisin du disque, il s'aperçoit, au bout de quelques instants, que les sensations lumineuses très nettes, produites par les surfaces colorées, s'atténuent peu à peu pour s'éteindre s'il prolonge l'expérience; mais à ce moment, s'il substitue brusquement aux surfaces colorées des surfaces blanches de même dimension, impressionnant par conséquent les mêmes points de la rétine, il aperçoit tout à coup les couleurs complémentaires avec une pureté et un éclat inconnus.

Cette expérience, des plus concluantes, permet d'arriver à la détermination précise des divers degrés de sensibilité de la rétine, en tant que mode et durée.

Au double point de vue de la Pathologie et de la Médecine légale, ces recherches offrent un réel intérêt, puisqu'elles décèlent les variations que peut présenter la rétine pour la perception des couleurs, par la façon même dont l'observateur apprécie les couleurs complémentaires.

Digitized by Google

Principe de la conservation de l'électricité ou second principe de la théorie des phénomènes électriques;
par M. G. Lippmann.

La quantité de matière et la quantité d'énergie ne sont pas les seules grandeurs qui demeurent invariables : la quantité d'électricité jouit de la même propriété. Si l'on considère un phénomène électrique quelconque dans son ensemble, on observe que la distribution de l'électricité peut changer, mais que la somme des quantités d'électricité libre ne varie jamais. Si la charge électrique subit des variations positives en certains points, elle subit en d'autres points et en même temps des variations négatives, telles que la *somme algébrique de toutes les variations simultanées est toujours égale à zéro*. En d'autres termes, dans un phénomène électrique quelconque, la *somme des quantités d'électricité libre est constante*. Cette loi, que j'appellerai le *principe de la conservation de l'électricité,* s'étend à tous les phénomènes étudiés jusqu'à présent ; elle ne fait que résumer des faits élémentaires et connus depuis longtemps, que je vais d'abord rappeler. On a vérifié cette loi pour les phénomènes suivants : partage de l'électricité, développement de l'électricité par frottement, par influence, action des piles.

Lorsqu'une charge d'électricité se partage entre deux corps, elle demeure invariable : l'un des corps gagne précisément ce que l'autre a perdu. Cette invariabilité de la charge est admise implicitement dans toutes les expériences où l'on mesure soit la charge, soit la capacité d'un corps. Elle est donc vérifiée par la concordance qui existe entre les résultats ainsi obtenus. D'ailleurs, une des expériences classiques de Coulomb peut servir à démontrer directement l'invariabilité de la charge pendant le partage. On se rappelle que Coulomb touche la boule fixe de sa balance avec une boule auxiliaire de même diamètre non électrisée ; il constate après le contact que la répulsion de la boule fixe est réduite à la moitié de ce qu'elle était auparavant. Si l'on définit les charges électriques par les répulsions qu'elles produisent, l'expérience de Coulomb démontre que la charge de la boule fixe a été réduite à

Digitized by Google

la moitié de ce qu'elle était, et par suite que la charge totale est demeurée invariable ; car la boule auxiliaire possède, par raison de symétrie, la même charge que la boule fixe [1].

Lorsqu'il y a électrisation par frottement, par pression, par clivage, les deux corps qui prennent part à ces actions acquièrent après leur séparation des charges nouvelles ; mais on sait que ces charges sont égales et de sens contraire. Leur somme algébrique est donc nulle.

Il en est de l'influence comme du frottement. Faraday a démontré avec soin que la somme algébrique des quantités d'électricité produites par influence est toujours nulle.

Enfin, on sait que les deux pôles d'une pile fournissent des quantités d'électricité toujours égales et de signe contraire. Ces quantités se neutralisent d'une manière continue lorsque l'on ferme le circuit.

En résumé donc, dans ces divers phénomènes, la somme algébrique de toutes les variations de charges simultanées est nulle, et par conséquent la quantité totale d'électricité libre demeure invariable [2]. Nous admettrons cette proposition comme un principe

---

[1] On interprète le plus souvent cette expérience d'une façon un peu différente. On *admet* que, par suite du contact, la charge de la boule fixe s'est réduite à moitié, et l'on conclut de l'expérience que la répulsion électrique demeure proportionnelle à la charge. Dans ce cas, on admet implicitement le principe de la conservation de l'électricité, puisque l'on admet que la charge primitive n'a fait que se partager entre les deux boules sans changer en quantité. On n'a pas le droit de dire que, les deux boules étant égales, chacune d'elles prend, par raison de symétrie, la moitié de la charge primitive ; en effet, la raison de symétrie implique seulement que les charges acquises par les deux boules soient égales entre elles. Or ces charges pourraient, tout en étant égales entre elles, n'être chacune que la vingtième partie, par exemple, de la charge primitive. Ainsi, dans cette interprétation, on admet implicitement, outre la raison de symétrie, le principe de la conservation de l'électricité.

[2] La quantité totale d'électricité libre dans un système est mesurée par l'attraction totale qu'exercerait sur ce système une masse électrique M infiniment éloignée, c'est-à-dire assez éloignée pour qu'on n'ait pas à tenir compte des dimensions du système attiré. On peut toujours imaginer que la charge totale ait été mesurée de cette manière, et, par conséquent, on peut exprimer le principe de la conservation de l'électricité sous la forme suivante : *Quelles que soient les actions électriques qui se produisent dans un système, l'attraction totale exercée sur le système par la masse infiniment éloignée* M *demeure constante.*

Sous cette forme, on voit clairement l'analogie qui existe entre le principe de la conservation de l'électricité et celui de la conservation de la matière. Ce dernier se démontre en plaçant sur le plateau d'une balance des corps qui peuvent réagir entre

Digitized by Google

général. applicable même aux phénomènes électriques pour lesquels on ne l'a pas encore vérifiée.

Afin de pouvoir l'introduire dans l'analyse, il est nécessaire de mettre le principe de la conservation de l'électricité en équation. Nous allons montrer qu'il s'exprime par une condition d'intégrabilité. A cet effet, considérons un système dans lequel il se produit un phénomène électrique quelconque ; on peut partager par la pensée ce système en deux parties, A, B. Soient a, b les variations de charge qui ont simultanément lieu en A, B ; d'après le principe que nous admettons, la somme algébrique des variations de charge simultanée est nulle ; on a donc $a + b = 0$. Supposons que A parcoure un cycle fermé, c'est-à-dire une série de changements tels que son état final soit identique à son état initial. On a dans ce cas $a = 0$, et par suite $b = 0$. Cette dernière équation signifie que, pendant le parcours du cycle, A a restitué à B toute l'électricité qu'il en a reçue, ou que la somme des quantités d'électricité reçues par A est nulle. Par conséquent, si l'on appelle dm la quantité d'électricité infiniment petite reçue par A lorsque l'état de A varie infiniment peu, il faut que l'on ait

$$\int dm = 0$$

pour tout cycle fermé parcouru par A. Pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit que dm soit une différentielle exacte. Soient donc x, y les deux variables indépendantes desquelles dépend à chaque instant l'état de A ; l'expression de dm est, par suite, de la forme

$$dm = X\,dx + Y\,dy.$$

La condition pour que cette expression soit une différentielle exacte est, comme on sait,

$$\frac{\partial X}{\partial y} = \frac{\partial Y}{\partial x}. \qquad (1)$$

---

eux, et en constatant que leur poids total demeure constant ; or ce poids n'est autre chose que l'attraction exercée sur le système par une masse infiniment éloignée, la masse terrestre, que l'on peut supposer concentrée en son centre.

Les mesures de quantité d'électricité se font d'ordinaire à petite distance, d'où la nécessité de tenir compte de la distribution. Cette complication accessoire disparaîtrait si l'on disposait d'une masse électrique M suffisamment grande et éloignée. Dans ce cas, on mesurerait les quantités d'électricité par des pesées pareilles à celles du chimiste.

Digitized by Google

Cette équation exprime le principe de la conservation de l'électricité ([1]).

Je vais montrer par quelques exemples l'usage que l'on peut faire de cette équation. La marche à suivre est chaque fois la même : il faut, dans chaque cas, désigner les variables indépendantes qui déterminent le phénomène que l'on considère et les introduire dans l'équation (α). On exprime ainsi le principe de la conservation de l'électricité. En outre, pour compléter l'analyse, il convient d'avoir recours au principe de l'équivalence et de l'exprimer également par une équation. On arrive ainsi au système de deux équations qui sont distinctes et compatibles, et qu'il ne reste plus ensuite qu'à discuter et à interpréter en langage ordinaire.

Pouvoir diélectrique des gaz. — Comme premier exemple d'application, considérons le phénomène découvert par M. Boltzmann en 1875. M. Boltzmann a construit un condensateur à lame d'air, formé d'un plateau T communiquant avec la terre, et d'un plateau A isolé et pouvant recevoir de l'électricité à un potentiel variable x; ce condensateur était placé sous la cloche d'une machine pneumatique, de façon que l'on pût faire varier la pression p du gaz contenu sous la cloche. Il a observé qu'il suffisait d'augmenter p pour diminuer la quantité d'électricité libre sur le plateau A, pour produire, en un mot, les mêmes effets que si l'on rapprochait l'un de l'autre les deux plateaux.

On a donc, en appelant dm la quantité d'électricité mise en liberté lorsque le potentiel électrique et la pression varient respectivement de dx et de dp,

$$dm = c\,dx + h\,dp, \tag{1}$$

([1]) L'équation (α) est la condition pour que la quantité d'électricité reçue par A soit une fonction de x et de y. Si cette équation n'était pas satisfaite, $\int dm$ dépendrait non seulement des valeurs actuelles, mais encore des valeurs antérieures de x et de y. C'est ainsi que la quantité de chaleur reçue, $\int dQ$, par un corps dépend non seulement de l'état actuel, mais encore de tous les états antérieurs du corps, dQ n'étant pas une différentielle exacte.

On n'a donc pas *a priori* le droit d'écrire que m est une fonction de x et de y; car ce serait admettre implicitement le principe de la conservation d'électricité et la condition d'intégrabilité (α).

Digitized by Google

c étant la capacité du condensateur sous la pression p, et h un coefficient mesuré expérimentalement par M. Boltzmann.

La condition d'intégrabilité (α) devient ici

$$(\alpha') \qquad \frac{\partial c}{\partial p} = \frac{\partial h}{\partial x}.$$

Exprimons en outre le principe de la conservation de l'énergie. En appelant E l'énergie, on a

$$(2) \qquad d\mathrm{E} = p\,dv - x\,dm,$$

v étant le volume du gaz contenu sous la cloche. On peut poser

$$(3) \qquad dv = a\,dx + b\,dp,$$

a étant un coefficient qui peut être nul. Le volume v devant reprendre la même valeur quand x et p reprennent eux-mêmes leurs valeurs initiales, v est une fonction de x et de p, et dv est une différentielle exacte; il faut donc que l'on ait

$$(4) \qquad \frac{\partial a}{\partial p} = \frac{\partial b}{\partial x}.$$

On a, en remplaçant dm et dv par leurs valeurs dans l'expression de E,

$$d\mathrm{E} = (ap - cx)\,dx + (bp - hx)\,dp.$$

Pour que le principe de la conservation de l'énergie soit satisfait, il faut que l'expression de $d\mathrm{E}$ soit une différentielle exacte [1], et par conséquent que l'on ait

$$\frac{\partial(ap - cx)}{\partial p} = \frac{\partial(bp - hx)}{\partial x}.$$

---

[1] En effet, pour faire varier la pression du gaz contenu sous la cloche, il faut déplacer un piston et dépenser du travail mécanique. Ce travail, dont l'expression est $\int p\,dv$, doit, en vertu du principe de l'équivalence, être égal à la variation de l'énergie électrique $\int x\,dm$, pour un cycle fermé. Il faut donc avoir

$$\int p\,dv = \int x\,dm \quad \text{ou} \quad \int (p\,dv - x\,dm) = 0$$

pour un cycle fermé; donc il faut que $p\,dv - x\,dm$ soit une différentielle exacte.

Digitized by Google

Cette condition d'intégrabilité développée, puis réduite au moyen de l'équation (4), devient

$$(\beta)\qquad a = x\left(\frac{\partial c}{\partial p} - \frac{\partial h}{\partial x}\right) - h.$$

Cette équation (β) exprime le principe de l'équivalence. En y joignant l'équation (α), on voit qu'elle se simplifie et qu'elle se réduit à

$$(\beta')\qquad a = - h.$$

Les deux principes de la conservation de l'électricité et de la conservation de l'énergie s'expriment donc par le système des équations α' et β'. Il ne reste plus qu'à les interpréter.

A cet effet, remarquons que h est une quantité différente de o et positive : c'est la charge qu'il faut fournir au plateau A pour maintenir son potentiel constant lorsqu'on augmente la pression d'une unité. D'après l'équation (β'), a est, par suite, une quantité différente de o et négative ; or a, d'après l'équation (3), est la dérivée partielle du volume v du gaz par rapport au potentiel x ; cette dérivée est négative : donc le volume du gaz diminue, à pression constante, lorsque le potentiel x augmente : phénomène physique nouveau dont l'analyse nous indique l'existence et la grandeur. Le principe de l'équivalence, pris tout seul, n'eût pas suffi pour établir ce résultat. En effet, si l'on ne tient pas compte de l'équation (α'), le principe de l'équivalence s'exprime par l'équation (β'), qui peut être satisfaite lors même que a serait nul. Le principe de la conservation de l'électricité est donc nécessaire pour démontrer *a priori* l'existence de la contraction électrique des gaz.

On peut calculer cette contraction en valeur absolue en se servant de la valeur de h, déterminée expérimentalement par M. Boltzmann. Ce physicien a trouvé par l'expérience que la capacité de son condensateur variait proportionnellement à la pression p. On a donc

$$c = c_0(1 + \gamma p),$$

c étant la capacité sous la pression p, c_0 la capacité dans le vide, et γ une constante spécifique du gaz qui forme la lame isolante.

Digitized by Google

On a, par conséquent,

$$\frac{\partial c}{\partial p} = c_0 \gamma;$$

par suite, en vertu de l'équation (α'), on a

$$\frac{\partial h}{\partial x} = c_0 \gamma;$$

et enfin, en vertu de l'équation (β'), on a

$$-\frac{\partial a}{\partial x} = c_0 \gamma.$$

En intégrant cette dernière équation, il vient

$$a = -c_0 \gamma x;$$

et, comme a est la dérivée partielle de v par rapport à x, on a enfin

$$\Delta v = -\tfrac{1}{2} c_0 \gamma x^2. \tag{6}$$

Δv est la variation de volume qui a lieu lorsque le potentiel de A est porté de o à x. On voit que cette variation est proportionnelle au carré du potentiel, à la constante spécifique γ [1] et à la capacité c_0 dans le vide.

La formule (6) permet de calculer la valeur numérique de la

[1] Entre la contraction électrique d'un gaz et ses propriétés optiques, il paraît exister une relation très simple et qui mérite d'être remarquée : la constante γ est égale au pouvoir réfringent du gaz. En effet, d'après la théorie de Maxwell, le pouvoir diélectrique d'un corps doit être égal au carré de son indice de réfraction n; les expériences de Boltzmann avaient précisément pour objet de vérifier cette relation, et elles l'ont vérifiée en effet; les valeurs du pouvoir diélectrique ou de $1 + \gamma p$ trouvées par Boltzmann sont égales aux carrés des indices des mêmes gaz; on a donc

$$1 + \gamma p = n^2,$$

d'où

$$\gamma = \frac{n^2 - 1}{p}.$$

Le coefficient de contraction électrique γ est donc égal au pouvoir réfringent du gaz.

Digitized by Google

contraction électrique d'un gaz dans des conditions déterminées. Supposons que ce gaz soit de l'air et que le condensateur soit formé par deux armatures métalliques parallèles. Soient s la surface de chaque armature, e la distance qui les sépare, v_0 le volume de l'air compris dans l'espace cylindrique qui a pour base les deux armatures. Supposons que la pression de l'air soit de 760mm de mercure, et qu'on porte le potentiel x à la plus grande valeur qu'on puisse lui donner sous cette pression, c'est-à-dire à la valeur pour laquelle la distance explosive est égale à e ; il est évident qu'on ne peut charger le condensateur davantage, puisqu'au delà l'étincelle jaillirait entre les deux armatures. Cherchons dans quel rapport se dilatera l'air dont le volume primitif est v_0. On a

$$c_0 = \frac{v_0}{4\pi e} \quad \text{et} \quad v_0 = se,$$

d'où

$$c_0 = \frac{v_0}{4\pi e^2};$$

en substituant cette valeur dans l'équation (6), il vient

$$\frac{\Delta v}{v_0} = \frac{1}{8\pi} \times \gamma \times \frac{x^2}{e^2}.$$

Le premier membre représente la dilatation électrique subie par chaque unité de volume de l'air. Dans le second membre, si l'on suppose que x correspond à la distance explosive e, le quotient $\frac{x}{e}$ est la valeur du potentiel qui donnerait une distance explosive égale à l'unité de longueur. La valeur de $\frac{x}{e}$ est, d'après sir W. Thomson, d'environ 133 unités C.G.S. pour l'air à la pression atmosphérique. D'autre part, on peut tirer la valeur de γ des expériences de M. Boltzmann. Ce physicien trouve pour l'air que $\frac{c}{c_0}$ ou $1 + \gamma p$ est égal à 1,00059, quand p est la pression mesurée par 760mm de mercure, c'est-à-dire quand p égale 1033×980 unités de force C.G.S : d'où

$$\gamma = \frac{0,00059}{980 \times 1033} = 0,0000000004.$$

Digitized by Google

On a donc enfin

$$\frac{\Delta v}{v_0} = \frac{1}{8\pi} \times \overline{133}^2 \times 0,0000000004 = 0,00000031.$$

La contraction électrique des gaz autres que l'air peut se calculer directement, ou bien se déduire du nombre trouvé pour l'air, en remarquant que les dilatations électriques sont entre elles comme les valeurs de γ, et, par conséquent, comme les valeurs de γp, p étant la pression atmosphérique. D'après Boltzmann, les valeurs de $1 + \gamma p$ sont, pour les divers gaz, données par le Tableau [1] suivant :

Air	1,00059
CO^2	1,00089
H	1,00025
CO	1,00065
Az^2O	1,00094
Gaz oléfiant	1,00124
Gaz des marais	1,00089

M. Quincke a récemment aperçu le phénomène de la contraction électrique dans le cas de l'acide carbonique.

Dilatation électrique du verre. — On se souvient que M. Duter a montré récemment que la lame de verre d'un condensateur se dilate, au moment de la charge, d'une quantité proportionnelle au carré du potentiel acquis par l'armature intérieure. Depuis, M. Righi a confirmé la loi de M. Duter : il a montré que la longueur d'une bouteille de Leyde, formée par un tube de verre droit, augmente proportionnellement au carré du potentiel. Appliquons à ce phénomène le mode d'analyse qui nous a précédemment servi.

Soit l la longueur de la bouteille de Leyde tubulaire de M. Righi, lorsque le potentiel de la lame isolée est x et que le tube est en même temps soumis, dans le sens de sa longueur, à

---

(1) Les valeurs de $1 + \gamma p$ consignées dans ce Tableau sont, on le remarquera, sensiblement égales aux carrés des indices de réfraction. On a donc bien

$$1 + \gamma p = n^2.$$

Digitized by Google

la tension exercée par un poids p. Nous prendrons x et p pour variables indépendantes. Posons

$$dl = a dx + b dp,$$

a étant un coefficient positif qui mesure l'allongement électrique de la bouteille tubulaire de M. Righi, et b le coefficient d'élasticité du tube. Posons

$$dm = c dx + h dp,$$

c étant la capacité électrique de la bouteille tubulaire et h un coefficient que nous ne supposerons pas *a priori* différent de o. Le principe de la conservation de l'électricité s'exprime par la condition d'intégrabilité

$$(\alpha) \qquad \frac{\partial c}{\partial p} = \frac{\partial h}{\partial x}.$$

Le principe de la conservation de l'énergie s'exprime en écrivant que la différentielle de l'énergie

$$d\mathrm{E} = p dl + x dm$$

est une différentielle exacte. On obtient ainsi, en tenant compte de l'équation (α), l'équation

$$(\beta') \qquad a = h.$$

Il ne reste plus qu'à interpréter le système des équations (α) et (β'). D'après cette dernière, a étant différent de o, il en est de même de h; il s'ensuit, en se reportant à l'équation (1), que la charge électrique augmente à potentiel constant en même temps que p; ou, en d'autres termes, que la capacité électrique augmente avec p. On peut même préciser davantage. L'allongement Δl est, d'après l'expérience, proportionnel au carré du potentiel. On a donc

$$\Delta l = k x^2,$$

k étant une constante. En tenant compte de cette relation dans les équations (α) et (β'), on trouve sans difficulté que l'on a

$$c = c_0 + k p,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire que la capacité de la bouteille croît proportionnellement au poids tenseur p. On n'a pas encore essayé de vérifier par l'expérience l'existence de ce phénomène, indiqué par l'analyse.

Électrisation produite par la compression des cristaux hémièdres. — MM. P. et J. Curie ont récemment découvert qu'un grand nombre de cristaux hémièdres s'électrisent par la compression : lorsqu'on les comprime suivant un axe de l'hémiédrie, les extrémités de cet axe prennent des charges égales et de signes contraires. C'est, par exemple, le cas d'une tourmaline que l'on comprime suivant son axe. MM. Curie ont en outre constaté que la quantité d'électricité dégagée par la pression d'un poids p est proportionnelle à ce poids et indépendante des dimensions du cristal.

Le calcul conduit ici aux conséquences suivantes. Supposons qu'on unisse les deux bases d'une tourmaline d'armatures métalliques et qu'on électrise ces armatures. Le cristal devra s'allonger si l'armature positive se trouve appliquée sur celle des bases de la tourmaline qui s'électrise positivement par la compression. L'inverse se présenterait si le cristal se trouvait retourné bout pour bout. On trouve, en outre, que l'allongement est proportionnel à la différence de potentiel communiquée aux extrémités du cristal. Le quartz, la topaze, etc., se déformeraient comme la tourmaline sous l'influence de l'électricité.

Le cas de l'allongement par électrisation mérite surtout d'attirer l'attention, car les attractions qui se produisent entre les électricités contraires tendraient à raccourcir le cristal et, par conséquent, ne sauraient expliquer son allongement. Ce phénomène est donc dû à un changement de structure produit par l'électrisation.

Pyro-électricité des cristaux. — On connaît les phénomènes de pyro-électricité présentés par un certain nombre de cristaux hémièdres, tels que la tourmaline. On peut appliquer à ces phénomènes le mode d'analyse qui nous a précédemment servi. On prendra ici pour variables indépendantes le potentiel x et la température absolue T. Le calcul conduit aux résultats suivants : 1° une tourmaline se refroidit lorsqu'on la soumet à l'influence

Digitized by Google

électrique et qu'en même temps celle de ses extrémités qui s'électrise positivement par l'échauffement est dirigée vers le corps électrisé positivement : l'inverse aurait lieu si le cristal était retourné bout pour bout; 2° la capacité électrique d'un condensateur qui aurait pour lame isolante une tourmaline perpendiculaire à l'axe est indépendante de la température.

Phénomènes électro-capillaires. — En appliquant aux phénomènes capillaires présentés par une électrode de mercure le même mode d'analyse, on en déduit, ainsi que je l'ai montré autrefois, deux relations [1]; la première de ces relations se trouve confirmée par des expériences récentes dues à M. R. Blondlot [2].

Cette première relation s'écrit

$$(1) \qquad c = -\frac{d^2 A}{dx^2},$$

c étant la capacité de polarisation par unité de surface d'une électrode de mercure, A la constante capillaire du mercure et x la différence de potentiel entre ce métal et le liquide qui le baigne. A est une fonction de x, et j'ai démontré en 1877 [3], par des expériences que M. Blondlot et moi nous avons ensuite étendues à un grand nombre de liquides, que cette fonction A est la même, quelle que soit la nature des liquides employés. Il doit donc en être de même de sa dérivée seconde et, par conséquent, de la capacité c. Or, M. Blondlot a démontré par l'expérience que la capacité de polarisation du platine est indépendante de la nature du liquide qui le baigne, pourvu qu'on maintienne constantes les valeurs de x.

Ainsi que le fait remarquer M. Blondlot, cette loi pouvait se prévoir d'après la formule (1), sans pourtant en être la conséquence nécessaire; en effet, il n'est pas démontré que le platine, corps solide, ait une constante capillaire, et par conséquent que la formule (1) lui soit applicable. La loi découverte par M. Blondlot ne pouvait donc être démontrée que par l'expérience; mais, une fois

---

(1) Voir *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. V, p. 494; 1875.
(2) *Journal de Physique*, t. X, p. 217, 333 et 421.
(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XII, p. 265; 1877.

Digitized by Google

démontrée, cette loi est une confirmation indirecte de la formule (1) et par conséquent du principe de la conservation de l'électricité.

Les exemples précédents suffisent pour montrer comment on peut appliquer à l'analyse d'un phénomène électrique le principe de la conservation de l'électricité, en même temps que le principe de l'équivalence. Quel que soit le problème auquel on applique ce calcul, on peut faire les remarques suivantes :

1° Les deux principes fournissent deux équations de condition distinctes et compatibles. Ce fait n'a rien d'étonnant, puisque les deux principes eux-mêmes sont distincts et compatibles.

2° Le système des deux équations ainsi obtenues s'interprète par deux lois physiques, dont l'une définit un phénomène nouveau qui est le réciproque du phénomène donné.

3° Le principe de la conservation de l'électricité est nécessaire pour établir ces conclusions : le principe de l'équivalence, pris tout seul, n'y eût pas suffi ; notamment, il n'eût pas suffi pour prouver l'existence du phénomène réciproque.

Le principe de la conservation de l'électricité est l'analogue du principe de Carnot, car il vient même se joindre au principe de l'équivalence pour compléter l'analyse des phénomènes ; il s'exprime de même par une condition d'intégrabilité, et il paraît également général.

La quantité d'électricité m est l'analogue non pas de la quantité de chaleur, mais de ce qu'on appelle l'*entropie ;* on sait que l'on désigne ainsi la quantité $dS = \frac{dQ}{T}$, dQ étant une quantité de chaleur et T la température absolue. On sait que M. Clausius a démontré que, d'après Carnot, on avait $\int dS = 0$ pour tout cycle fermé : de telle sorte que le principe de Carnot pourrait s'appeler *le principe de la conservation de l'entropie*. Ensuite M. Kirchhoff a montré que l'on pouvait exprimer ce même principe en écrivant que dS est une différentielle exacte.

Nous avons déjà signalé, en commençant, l'analogie qui existe entre la quantité d'électricité et la quantité de matière telle qu'on la définit par des pesées. On peut donc former le Tableau suivant, dans lequel les quantités écrites sur la même ligne sont analogues.

Digitized by Google

Attraction newtonienne.	Électricité.	Chaleur.
H (potentiel de l'attraction newtonienne).	V (potentiel électrique).	T (température absolue).
M (quantité de matière).	m (quantité d'électricité).	S ou $\frac{Q}{T}$ (entropie).
HM (énergie de la pesanteur).	Vm (énergie électrique).	ST ou Q (quantités de chaleur ou énergie thermique).

On se rappelle que du temps de Sadi Carnot on croyait que les quantités de calorique ne pouvaient jamais varier; Carnot lui-même, dans un de ses raisonnements, a admis implicitement qu'il y avait conservation du calorique. Il résulte de cette erreur que l'on a dû corriger sur ce point le raisonnement de Carnot, en substituant l'entropie à la quantité de calorique; mais il en résulte en même temps que les raisonnements de Carnot s'appliquent sans correction aux phénomènes électriques, à condition seulement de remplacer la température par le potentiel et la quantité de calorique par la quantité d'électricité. On peut ainsi démontrer ([1]), en se servant d'ailleurs des mêmes termes que Carnot, les deux théorèmes suivants, qu'il a énoncés dans le cas de la chaleur : 1° *Le rendement en travail d'un moteur électrique, pour une dépense donnée d'électricité, est maximum lorsque le cycle parcouru est réversible.* 2° *Ce maximum est indépendant de la nature du moteur.*

SÉANCE DU 15 JUILLET 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juillet 1881 est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Le Dr Fricker, à Paris.

Garay, directeur de 1re classe des télégraphes espagnols.

([1]) Voir *Extension du principe de Carnot*, etc. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1876).

Digitized by Google

M. Mercadier décrit et fait fonctionner un appareil chronographique enregistreur à vitesse variable de M. A. Duboscq.

M. Rosenstiehl communique les résultats de ses recherches sur la composition des couleurs et la détermination des couleurs fondamentales.

M. Hospitalier présente un appareil qu'il a imaginé pour régler la charge d'une pile secondaire par une machine magnéto-électrique.

M. Hospitalier présente ensuite un second appareil imaginé par le Dr Paul Ranque pour avertir automatiquement du moment où une pile est chargée à saturation et pour faire passer automatiquement le courant d'une pile saturée sur une seconde pile. Cet appareil très simple est fondé sur le dégagement de gaz qui accompagne le passage du courant lorsque la pile est chargée à saturation. Les gaz qui se dégagent de la pile hermétiquement fermée arrivent par un tube en caoutchouc dans un tube en V rempli de mercure jusqu'à une certaine hauteur. La pression des gaz provoque une dénivellation du mercure qui produit tantôt un avertissement en fermant le circuit sur une sonnerie, tantôt un changement automatique en supprimant le contact électrique sur la première pile et en l'établissant sur la seconde.

M. le Président annonce que, à l'occasion de l'Exposition internationale d'Électricité et du Congrès international des électriciens, la Société tiendra une ou deux séances supplémentaires dont la date n'est pas encore fixée, et pour lesquelles les membres seront convoqués par lettre.

Chronographe enregistreur à vitesse variable de M. Albert Duboscq; par M. E. Mercadier.

L'instrument se compose des pièces suivantes :

1° Un cylindre dont l'axe fileté peut être mis en mouvement, soit à la main, soit à l'aide de la manivelle M; soit par le poids P d'un rouage très simple dont on peut le rendre solidaire en enfonçant une clavette C; ce poids est formé de deux parties de 7^{kg} et 4^{kg}, formant une masse totale de 11^{kg} seulement.

Sur le cylindre on peut tendre, soit une feuille de papier ayant

Digitized by Google

toute la longueur du cylindre à la manière ordinaire, soit, ce qui est beaucoup plus commode et plus simple, une bande de papier analogue à celles dont on se sert en télégraphie pour l'appareil Morse, et dont la largeur est à peu près égale au pas du filet de l'axe du cylindre. On colle sur le cylindre le bout de la bande enroulée sur un rouet, on l'engage dans un guide fixe, et, en tournant le cylindre, elle s'enroule sur lui de façon à en couvrir toute la surface; on colle ensuite la seconde extrémité.

Bande ou feuille sont ensuite enfumées comme d'habitude.

2° Des électro-aimants E et des électro-diapasons de M. E. Mercadier.

Les premiers, au nombre de deux, sont très petits, leurs armatures sont très légères et leurs noyaux aussi réduits que possible; leurs bobines ont des résistances calculées d'après l'usage qu'on en veut faire, suivant qu'ils doivent fonctionner en court ou en long circuit.

Les axes autour desquels tournent les armatures portent des styles et les deux appareils peuvent être assez rapprochés l'un de l'autre pour que ces styles puissent presque se toucher.

D'ailleurs, les électro-aimants sont montés sur une tringle T sur laquelle ils peuvent ou glisser ou tourner, et la tringle elle-même est fixée à deux traverses T', T' susceptibles de deux mouvements : l'un, de bas en haut, l'autre, de rotation autour de l'axe formé par la ligne des centres de deux axes de cercle A, A, sur lesquels les traverses peuvent être fixées par des vis de pression V.

Ces divers mouvements ont pour but de permettre de placer les extrémités des styles des électro-aimants à la hauteur que l'on veut sur le cylindre, de façon qu'elles en effleurent seulement la surface, et, de plus, de les disposer par rapport au cylindre et par rapport aux styles des électro-diapasons dans la position que l'on veut.

Toutes les personnes qui s'occupent de chronographie savent l'importance que présentent tous ces réglages.

L'un des électro-aimants sert à enregistrer les battements d'une pendule à secondes et l'autre peut servir à l'inscription d'un phénomène qui n'exige pas l'enregistrement d'une fraction de temps plus petite.

Les électro-diapasons sont aussi au nombre de deux, l'un de

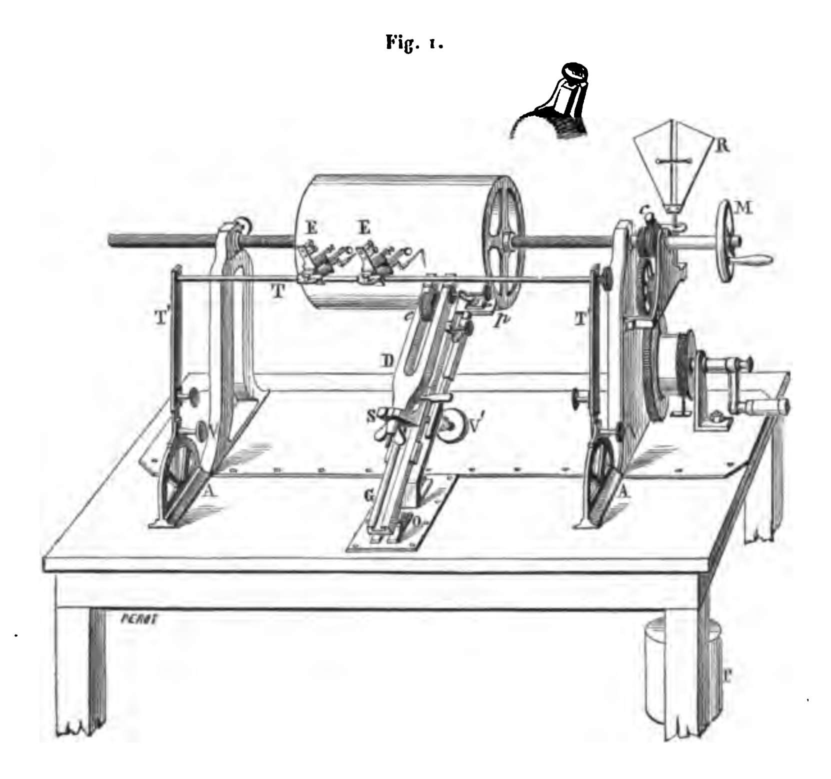
Digitized by Google

100, l'autre de 1000 périodes (vibrations doubles) : ils ont la même largeur à l'intérieur des branches, et ils sont disposés de façon à pouvoir être immédiatement substitués l'un à l'autre sur un support qui porte l'électro-aimant *e* qui entretient leur mouvement et la plaque interruptrice *p* nécessaire pour cet entretien.

Ce support *s* peut glisser le long d'une glissière en bronze G, susceptible de tourner autour d'un axe O d'un mouvement rapide donné à la main, ou d'un mouvement lent à l'aide d'une vis V'.

De cette manière, bien que les deux électro-diapasons soient de longueur différente, on peut leur donner *le même système d'en-*

Fig. 1.



tretien, et on peut placer les extrémités de leurs styles enregistreurs au même point du cylindre et dans la même position par rapport aux styles des électro-aimants. En recouvrant l'électro-aimant d'entretien de fil de grosseur moyenne (fil n° 16 du commerce, par exemple), un élément de pile au bichromate de potasse

Digitized by Google

suffit et au delà pour activer l'électro-diapason de 100 périodes et deux de ces éléments suffisent pour celui de 1000 périodes, en ayant soin de donner à son style une longueur convenable pour qu'il se produise un nœud un peu en avant du point où il est fixé au diapason; auquel cas on peut arriver à inscrire des sinusoïdes à 1000 sommets par seconde et d'une largeur de $0^m,003$.

3° Des régulateurs à ailettes de trois dimensions différentes.

Ces régulateurs R, de forme bien connue, sont destinés à modérer plus ou moins l'action du moteur et à donner au cylindre les vitesses variables nécessaires pour pouvoir enregistrer la seconde, le 100ᵉ et le 1000ᵉ de seconde. Ces régulateurs peuvent être substitués l'un à l'autre sans aucune difficulté : leur grandeur est déterminée par la condition que sur le cylindre l'espace correspondant à une seconde, $\frac{1}{100}$ et $\frac{1}{1000}$ de seconde, soit au moins de $0^{mm},5$ pour le dernier cas, et au moins de 3^{mm} ou 4^{mm} pour le premier.

Les mouvements réglés par ces régulateurs ne sont certainement pas uniformes, mais ce n'est nullement nécessaire lorsque l'on enregistre sur le même cylindre, et côte à côte, les fractions du temps à l'aide de diapasons et les phénomènes que l'on étudie.

Ainsi disposé, ce chronographe nous semble fournir une solution simple de ce problème pratique, consistant à pouvoir, à l'aide d'un appareil robuste, simple, d'un petit volume, facilement transportable, muni seulement d'un moteur à poids, étudier avec une égale facilité, et néanmoins avec précision, des phénomènes exigeant l'inscription de durées aussi différentes que la seconde, le 100ᵉ et le 1000ᵉ de seconde.

Recherches des sensations colorées fondamentales et déterminations de la distance angulaire des couleurs; par M. A. Rosenstiehl.

Introduction.

Nous ne possédons pas encore de moyen de classer les couleurs reposant sur une base scientifique certaine.

Digitized by Google

Cette lacune dans nos connaissances ne tient ni au manque de méthodes expérimentales, ni au défaut de vues théoriques reliant les faits connus, ni à un nombre insuffisant d'observations.

La cause de cette lacune (l'étude des traités spéciaux en donne la preuve) réside uniquement dans ce fait, que l'on n'a pas distingué avec assez de rigueur les phénomènes dus aux propriétés physiques de la lumière de ceux qui sont d'ordre purement physiologique.

La couleur étant une sensation éprouvée par l'œil, c'est l'étude seule des propriétés de cet organe au point de vue de la perception des différentes lumières qui peut nous faire trouver les lois de la vision des couleurs et établir les relations qui existent entre elles.

La lumière ne sera dans cette conception qu'un moyen commode de provoquer des sensations colorées, par l'intermédiaire de matières colorantes. Sans vouloir développer ici ce sujet, je tiens à dire dès le début que la formule précédente résume la doctrine qui m'a guidé dans l'interprétation des faits observés.

A l'exemple de Maxwell, j'ai employé des disques tournants pour opérer le mélange des couleurs qui étaient représentées par des feuilles de papier coloré.

Le travail actuel n'est que la suite de recherches qui ont été communiquées à la Société de Physique en 1877 (¹).

Dans cette première Partie, j'ai étudié la manière dont se modifie une couleur quand on y mêle du blanc. J'ai comparé les résultats obtenus avec ceux que donne le mélange d'une matière colorante avec une matière incolore. J'ai démontré que dans ce dernier cas la couleur même de la matière se trouve altérée. Cette altération est due à l'extinction graduelle des rayons d'une réfrangibilité déterminée et caractéristique de chaque matière colorante. L'addition d'une matière incolore à une substance colorée a en général pour effet de produire des couleurs notablement moins rougeâtres et, en beaucoup de cas aussi, des couleurs plus franches.

Avec le mélange des sensations, rien de semblable ne se produit; les résultats sont absolument réguliers, de telle sorte que les disques tournants permettent d'établir des rapports numériques entre une

(¹) *Séances de la Société de Physique*, année 1877, p. 120.

Digitized by Google

couleur et celle que l'on en dérive, en y mélangeant la sensation du blanc en diverses proportions. Parmi les différentes propositions que j'ai pu démontrer par cette méthode, je rappellerai notamment celle relative à l'équidistance des couleurs à la vue : en mélangeant la sensation du blanc avec celle d'une couleur en diverses proportions, de manière à en obtenir une série de dégradations régulièrement espacées à la vue, on constate que les proportions de deux sensations varient comme les termes d'une progression arithmétique.

L'objet du travail actuel est d'étudier le résultat du mélange de deux sensations colorées. J'avais quelque peu traité ce sujet dans mon premier Mémoire, à l'occasion d'expériences sur un cercle chromatique. Cependant je n'ai pas cru devoir publier deux séries d'observations, parce que je n'avais pas su les interpréter. Je reviens aujourd'hui sur ces phénomènes et, après les avoir décrits, je ferai ressortir le lien qui les unit; je discuterai les conséquences qui seront vérifiées expérimentalement et j'en tirerai les conclusions définitives.

I. — Détermination de la répartition des couleurs primaires des artistes dans le cercle chromatique.

Le cercle chromatique qui a servi à toutes ces expériences a été exécuté sur des feuilles de papier avec des matières colorantes couvrantes. Il est établi sur le principe de celui de M. Chevreul, c'est-à-dire qu'il forme une suite de soixante-douze couleurs dans laquelle le rouge, le jaune, le bleu sont à égale distance l'un de l'autre. Les intervalles sont remplis par des couleurs aussi équidistantes que possible à la vue, à la même hauteur du ton et, en principe du moins, également franches.

Le rouge, le bleu, le jaune étant considérés par les artistes comme couleurs primaires, toutes les couleurs intermédiaires sont dans cette conception un mélange de deux couleurs. Je me suis proposé de mesurer pour chacune d'elles les deux composantes.

Le procédé employé a déjà été décrit dans ce Recueil ([1]).

([1]) Année 1877, p. 134.

Digitized by Google

Je ne ferai que le rappeler sommairement. L'orangé étant considéré comme un mélange de rouge et de jaune, j'y détermine la sensation de chacune de ces deux couleurs dans deux expériences consécutives. Dans la première, j'éteins la sensation du jaune par sa complémentaire le bleu, et il reste celle du rouge mélangée à celle du blanc. Dans la deuxième, la sensation du rouge est éteinte à son tour par celle du quatrième vert, sa complémentaire, et il ne subsiste plus que celle du jaune mélangé de blanc, comme dans la première expérience.

La couleur résultant du mélange est identifiée avec le rouge ou avec le jaune du cercle chromatique, qui est représenté dans l'expérience par un secteur dont on détermine l'angle par tâtonnements.

La mesure des angles des secteurs permet de représenter les résultats de l'expérience par des chiffres.

Toutes les couleurs du cercle ont été étudiées de la sorte par rapport à deux couples de couleurs complémentaires : le jaune et le bleu, le rouge et le quatrième vert ; on remarquera qu'aux trois premières, qui constituent les couleurs primaires du cercle, il a fallu en joindre une quatrième, le vert complémentaire du rouge ; la raison en est qu'il est impossible de produire la sensation du vert par le mélange du jaune et du bleu, ce dernier mélange ne produisant que la sensation du blanc.

Le cercle chromatique s'est trouvé divisé en quatre sections :

Le rouge a été mesuré :

Du bleu au rouge (en passant par le violet) en se servant du jaune pour éteindre la sensation du bleu, du rouge au jaune en éteignant la sensation du jaune par du bleu.

Le jaune a été mesuré :

Du rouge au jaune en éteignant le rouge par sa complémentaire le quatrième vert. Du jaune au quatrième vert en éteignant ce dernier par du rouge.

Le quatrième vert a été mesuré :

Du jaune au quatrième vert en éteignant le jaune par du bleu; du quatrième vert au bleu, en éteignant le bleu par du jaune.

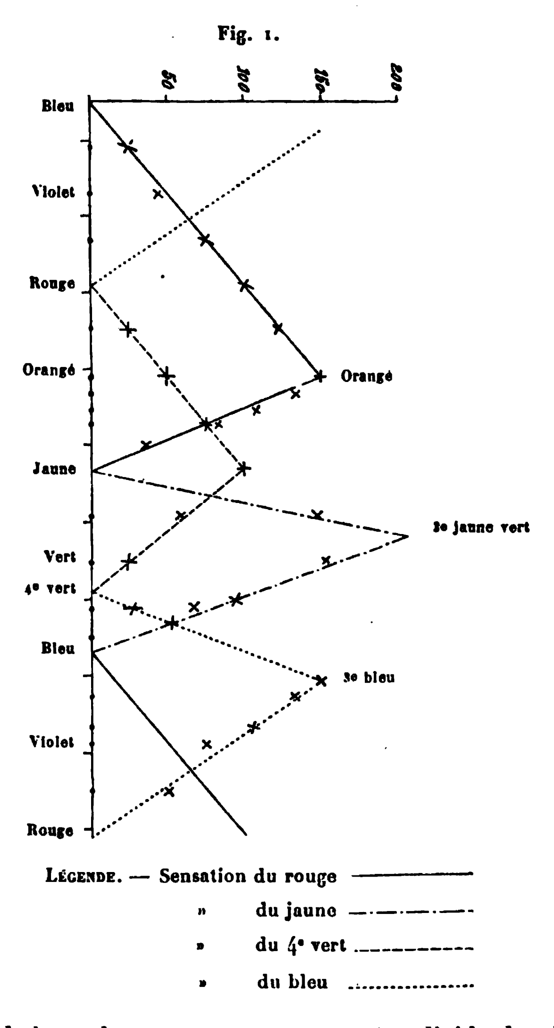
Le bleu a été mesuré :

Du quatrième vert au bleu en éteignant le vert par du rouge ; du bleu au rouge en éteignant le rouge par le quatrième vert.

Digitized by Google

Pour représenter les résultats de l'expérience graphiquement, le cercle chromatique a été développé selon une ligne droite (*fig.* 1), sur laquelle des divisions d'égale longueur correspondent aux couleurs équidistantes; des ordonnées représentent l'intensité de

Fig. 1.



la sensation de la couleur composante mesurée à l'aide des disques tournants. L'unité de mesure pour le rouge pur est le papier coloré en rouge qui fait partie de mon cercle; il en est de même du quatrième vert, du jaune et du bleu.

Digitized by Google

Voici l'aspect général de cette construction.

Les extrémités des ordonnées se trouvent sur une ligne sensiblement droite, ce qui prouve que l'équidistance à la vue pour les intermédiaires entre deux couleurs est produite par le mélange suivant une progression arithmétique; mais le résultat le plus remarquable de ce classement est le suivant :

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, du bleu au rouge la sensation du rouge va régulièrement en croissant; mais, au lieu d'atteindre son point culminant dans le rouge, la ligne continue à s'élever jusqu'à l'orangé, où elle atteint son maximum pour s'abaisser ensuite rapidement jusqu'au jaune, où elle devient nulle.

De même, la ligne qui représente la sensation du vert s'élève rapidement depuis le jaune jusqu'au troisième jaune vert, puis s'abaisse vers le bleu en passant par le quatrième vert.

La sensation du bleu atteint de même un maximum dans le troisième bleu et non dans le bleu lui-même. Seule la ligne représentant la sensation du jaune atteint son point culminant sur l'ordonnée qui correspond à cette couleur. Le cas qui devait, selon mon attente, représenter la règle générale se trouve être une exception.

Ces résultats étant constatés, comment faut-il les interpréter? Ainsi que je l'ai dit au début, je n'ai pas, pendant plusieurs années, pu me rendre compte de la raison d'être de ces maxima.

C'est que, pour les interpréter, je m'étais placé au point de vue de l'idée qui m'avait fait entreprendre ces expériences, tandis que, pour en faire ressortir la signification, il convenait de discuter l'expérience elle-même. Dès lors, les faits constatés s'énoncent ainsi :

En cherchant à produire le rouge par le mélange de deux couleurs, dont l'une, le bleu, reste constante, tandis qu'on fait varier l'autre à partir du jaune, on obtient la sensation de rouge la plus intense par le mélange de bleu et d'orangé. Cette sensation est plus intense que celle produite par la vue du rouge de mon cercle chromatique.

En essayant de produire la sensation du jaune par des mélanges deux à deux, on voit qu'aucun mélange ne produit un jaune aussi intense que celui du cercle.

En cherchant à produire la sensation du quatrième vert par des

Digitized by Google

mélanges du bleu avec les couleurs comprises entre le jaune et le quatrième vert, on obtient le meilleur résultat avec le bleu et le troisième jaune vert; de même que la sensation du bleu est obtenue bien mieux par un mélange du quatrième vert et du troisième bleu que par le bleu lui-même.

L'orangé, le troisième jaune vert, le troisième bleu, constituent trois points du cercle chromatique qui ont pour notre œil une signification particulière, puisque, par le mélange de leurs sensations, ils permettent de reproduire le rouge, le vert, le bleu les plus intenses.

Ces trois couleurs rappellent par leurs propriétés les sensations fondamentales de Young, qui, d'après lui, cependant, seraient autres que celles trouvées ci-dessus; Young indique le rouge, le vert, le violet; Maxwell le rouge orangé, le vert émeraude et le bleu violet. L'incertitude qui règne sur cette question fait dire à Helmholtz [1] :

« Le choix des sensations fondamentales présente tout d'abord quelque chose d'arbitraire. On pourrait choisir à volonté trois couleurs dont le mélange produise du blanc.... Il n'existe encore, que je sache, aucun moyen de déterminer les couleurs fondamentales que l'examen des sujets affectés de dyschromatopsie. »

Si les couleurs qui forment le maximum de sensation dans cette première série d'expériences correspondent réellement aux sensations fondamentales, la méthode que j'ai employée se trouverait être en réalité la plus rationnelle pour les découvrir, car on peut admettre que, produisant l'une des couleurs intermédiaires mieux que les autres, elles sont aussi les plus aptes à les produire toutes.

Pour que cette conclusion cependant fût à l'abri de la critique, il faudrait que toutes les couleurs de mon cercle fussent également franches; mais il suffit d'un examen même superficiel pour s'assurer qu'il n'en est pas ainsi : les couleurs comprises entre le jaune et l'orangé sont plus vives que celles comprises entre le bleu et le jaune et celles voisines du violet et du rouge.

---

[1] Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 384.

Digitized by Google

Ces résultats n'acquerront de la valeur que s'il est possible de les contrôler par une méthode différente dans laquelle la pureté relative des couleurs n'intervient en aucune façon : cette condition se trouve réalisée dans la deuxième série d'expériences.

II. — Étude de la répartition des couleurs complémentaires dans le cercle chromatique.

Par le mélange de plusieurs sensations colorées, la sensation de couleur peut cesser totalement, et ce résultat peut être atteint même avec deux couleurs seulement. Cette propriété de notre œil est une des plus remarquables, et toute théorie destinée à servir de lien aux phénomènes de la vision des couleurs doit la prendre comme point de départ.

Une infinité de couleurs mélangées deux à deux ou trois par trois peuvent produire la sensation du blanc, de sorte que cette dernière propriété ne serait nullement caractéristique des couleurs possédant les qualités de sensations fondamentales. Celles-là doivent, d'après leur définition même, produire, par leur mélange deux à deux, toutes les couleurs intermédiaires, et elles doivent satisfaire à cette condition, sans produire en même temps la sensation du blanc, ou plus exactement en la produisant moins que toutes les autres couleurs qu'on pourrait choisir à leur place.

Ces deux conditions sont précisément l'opposé de celles que remplissent les couleurs complémentaires qui, par leur mélange deux à deux, ne donnent naissance à aucune couleur intermédiaire, et, quand elles sont mêlées en proportions convenables, ne produisent que la sensation du blanc. Par leurs propriétés, ces deux espèces de couleurs se limitent réciproquement.

Il en résulte que l'étude de la répartition des couleurs complémentaires dans un cercle chromatique permet de déterminer les points de ce cercle qui correspondent aux sensations fondamentales.

J'ai décrit la méthode qui permet de déterminer rigoureusement les couleurs complémentaires à l'aide des divers disques tournants [1].

---

[1] *Séances de la Société de Physique*, année 1877, p. 121.

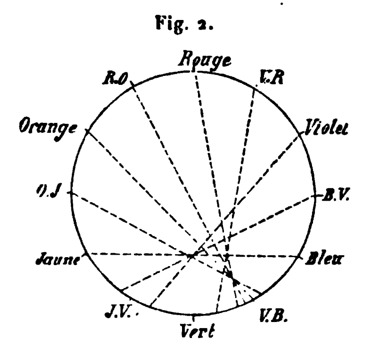
Digitized by Google

La *fig.* 2 donne le résultat de ce travail; les lignes ponctuées réunissent deux couleurs complémentaires.

A première vue, on constate une grande irrégularité dans la répartition des couleurs complémentaires, et il semble impossible d'en déduire des conséquences intéressantes.

Helmholtz (¹), qui a étudié spécialement leur distribution dans le spectre, n'a pu en tirer aucune loi. Il a comparé entre elles les longueurs d'onde de couleurs complémentaires pour y trouver une relation numérique. Il n'est arrivé et ne pouvait arriver à aucun

Fig. 2.



Répartition des couleurs complémentaires dans un cercle chromatique où l'on a placé, à égale distance l'une de l'autre, six couleurs, savoir : le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, le violet.

résultat. La propriété de deux couleurs d'être complémentaires est d'ordre purement physiologique, tandis que les longueurs d'onde sont des propriétés physiques qui dépendent de la nature intime de la lumière; elles ne cesseraient pas d'exister alors même que nous serions privés d'un organe pour percevoir les couleurs.

Les intervalles irréguliers qui existent entre les couples de couleur complémentaire vont recevoir une signification, et le désordre de leur répartition va disparaître par la discussion des résultats, si l'on prend pour guide les définitions précédentes.

Je rappelle que le cercle chromatique sur lequel ont porté ces expériences est divisé en trois sections égales dont le rouge, le jaune et le bleu forment les limites.

(¹) Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 384.

Digitized by Google

Les couleurs comprises dans chaque section sont équidistantes entre elles à la vue, mais il n'en est pas nécessairement de même des trois couleurs supposées primaires qui limitent les sections. En conséquence, les trois dernières ne sont pas exactement comparables.

La discussion qui va suivre, et qui est basée sur l'équidistance à la vue, ne peut donner des résultats dignes de confiance que si elle se rapporte à une seule section.

Je choisis celle du jaune au bleu, qui comprend toutes les complémentaires des deux autres tiers du cercle.

Entre le jaune et le bleu se trouve le vert, qui, ne pouvant être obtenu par leur mélange, correspond nécessairement à une sensation fondamentale.

Pour en préciser la position (car nous avons le choix entre dix-huit couleurs de ce nom), je fais observer qu'il doit donner avec une deuxième couleur, actuellement encore inconnue, mais sûrement placée entre le rouge et l'orangé-jaune, et avec une troisième couleur, placée entre le bleu et le bleu violet, la totalité des couleurs du cercle chromatique, tout en produisant le moins possible la sensation du blanc. Ce vert devra donc être placé à égale distance des complémentaires des deux groupes de couleurs.

On pourrait croire, à première vue, que la question posée dans des termes si larges devrait comporter plusieurs solutions. Il n'en est rien. Le complément de dix-neuf couleurs qui s'étendent du rouge à l'orangé jaune n'occupe dans le cercle que quatre numéros consécutifs, soit du quatrième vert au premier vert bleu.

Les compléments du bleu au violet bleu s'étendent du jaune au quatrième jaune. Entre les deux groupes de couleurs, il y a un intervalle de dix numéros, dont le milieu est occupé par le troisième ou le quatrième jaune vert.

La deuxième couleur située vers le bleu violet se détermine par un raisonnement analogue. Cette couleur doit produire, avec le troisième jaune vert d'un côté, et une couleur située entre le rouge et l'orangé jaune de l'autre, toutes les couleurs du cercle chromatique, tout en produisant le moins possible la sensation du blanc. Elle sera donc à égale distance de la complémentaire du troisième jaune vert, qui est le premier violet, et du groupe com-

Digitized by Google

plémentaire du rouge à l'orangé jaune, c'est-à-dire du quatrième vert au premier vert bleu.

Or, entre le premier violet et le premier vert bleu, il y a vingt couleurs ; le milieu est occupé par le troisième ou le quatrième bleu.

Pour trouver la troisième couleur, la marche est à modifier, afin de ramener la discussion de l'équidistance à la section qui s'étend du jaune au bleu.

Je fais observer que si les trois couleurs correspondant aux sensations fondamentales sont équidistantes, leurs complémentaires le sont aussi ; donc le complément de la troisième couleur à chercher est à égale distance entre le troisième jaune vert et le troisième bleu. Cette couleur est le vert bleu, dont le complément est l'orangé.

Les trois couleurs qui conviendraient donc le mieux pour reproduction par un mélange deux à deux des couleurs intermédiaires seraient l'orangé, le troisième jaune vert et le troisième bleu, c'est-à-dire les mêmes qui, dans la première série d'expériences, ont reproduit par leur mélange le rouge, le vert et le bleu le plus intenses.

Il y a tout lieu de croire que cette concordance intéressante n'est pas un effet du hasard. Il est bon de faire observer que si ces résultats sont obtenus avec le même cercle chromatique que ceux de la première série, ils s'appuient sur une autre qualité, celle de l'équidistance, à la vue, de couleurs intercalées et sur la répartition des couleurs complémentaires dans ce cercle. Ce mode d'opérer élimine les causes d'erreur provenant du défaut d'exécution, notamment celles dues à l'inégale pureté des couleurs.

Quant à l'équidistance à la vue, l'œil en juge avec une précision suffisante pour que les résultats de la discussion puissent être considérés comme exacts à $\frac{1}{72}$ près, c'est-à-dire à un numéro près du cercle chromatique.

III. — Discussion de la théorie des trois sensations colorées fondamentales. Caractères distinctifs de ces couleurs.

La notion des trois sensations colorées fondamentales est née de l'étude des propriétés de l'œil incomplètement organisé au point de vue de la perception des couleurs.

Digitized by Google

La théorie qui sert de lien aux phénomènes observés conduit à une hypothèse sur la structure de l'œil normal.

Mais depuis les expériences de Maxwell (1) sur le spectre solaire, qui remontent à plus de vingt ans, ce sujet n'a plus été l'objet d'aucune recherche, la méthode expérimentale pour étudier les lois de la vision des couleurs sur l'œil normal faisant défaut. En déterminant à l'aide des disques tournants la répartition des couleurs complémentaires dans un cercle chromatique, je crois avoir comblé cette lacune. La position des trois couleurs correspondant aux sensations fondamentales d'Young a été établie par là avec bien plus de précision qu'on n'a pu le faire jusqu'à présent. La théorie d'Young recevant de ce fait un appui qui la fait sortir du domaine de l'hypothèse, il m'a paru utile d'en discuter les conséquences et de désigner celles qui sont susceptibles d'une vérification expérimentale exacte. Il résultera de cette discussion, d'une part, que certaines propriétés attribuées aux couleurs primaires ne leur appartiennent pas exclusivement, et, d'autre part, que leur vrai caractère distinctif n'a pas encore été énoncé.

Les couleurs primaires, c'est-à-dire celles qui correspondent aux sensations fondamentales, possèdent, par leur définition même, les propriétés suivantes :

1° *Par leur mélange deux à deux elles produisent toutes les couleurs perceptibles pour notre œil.*

Cette propriété appartient à toutes les couleurs qui ne sont pas complémentaires ; mais il se produira en même temps la sensation du blanc, de sorte qu'il faut ajouter la condition suivante, qui est limitative :

Elles produisent en même temps la sensation du blanc à un degré moindre que les autres couleurs.

Je me suis déjà servi indirectement de ce caractère. Mais sa vérification expérimentale directe présente de grandes difficultés pratiques, parce que la mesure de la quantité de lumière blanche émise par une surface colorée ne peut être faite avec précision. Il

(1) *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. X, p. 404-409 ; 1860.

Digitized by Google

faudrait exécuter un cercle chromatique dont les couleurs fussent d'égale intensité et émissent à éclairage égal la même quantité de lumière blanche.

Le cercle avec lequel j'ai opéré ne possède pas ces qualités, et j'ai renoncé à entrer dans cette voie, la difficulté pouvant d'ailleurs être aisément tournée.

2° *La sensation du blanc pur résulte de l'excitation égale des trois sensations fondamentales.*

Chacune de ces couleurs a pour complément le mélange des deux autres à égale intensité.

La construction graphique qui représente l'ensemble des couleurs perceptibles reçoit habituellement la forme d'un triangle équilatéral dont les sommets sont occupés par les couleurs primaires. La complémentaire correspondante, qui est toujours une couleur binaire, est placée au milieu du côté opposé ; toutes les autres couleurs binaires trouvent de même leur place sur les côtés du triangle, de telle sorte que les deux complémentaires sont situées aux deux extrémités d'une droite passant par le point d'intersection des médianes.

Les propriétés que je viens d'énoncer et les conséquences que viens d'énumérer et qui sont admises ne sont pas caractéristiques des couleurs primaires. Elles appartiennent à une infinité de couleurs, à la condition toutefois de les choisir suivant une certaine règle.

J'appelle *triade* un ensemble de trois couleurs possédant cette propriété. Dans le triangle équilatéral décrit ci-dessus, *les triades secondaires seront représentées par tous les triangles équilatéraux que l'on pourra y inscrire.*

Le plus petit de ces triangles est celui formé par la triade des complémentaires des couleurs primaires. A chaque triade secondaire correspond de même une triade composée des couleurs complémentaires, et, comme on peut les choisir aussi rapprochées que l'on veut, il n'y a réellement pas de limite à leur nombre.

La distribution des couleurs complémentaires dans une triade est susceptible d'une vérification expérimentale, et j'aurai l'occasion d'y revenir.

Comme corollaire, il convient d'ajouter que trois couleurs qui

Digitized by Google

ne font pas partie d'une triade peuvent encore, par leur mélange, produire la sensation du blanc, mais cette sensation ne résulte plus de leur mélange en quantités égales. Il s'ensuit que leurs compléments ne sont plus alors, dans la construction graphique, situés aux deux extrémités d'une droite passant par le point d'intersection des médianes.

Ce point a été, comme le précédent, vérifié expérimentalement.

J'arrive maintenant à un caractère essentiel. Si dans un triangle équilatéral on joint chaque sommet au milieu du côté opposé, il se trouvera divisé en six triangles rectangles égaux. Les couleurs comprises dans deux de ces triangles opposés par le sommet sont réciproquement complémentaires.

Étant donnée la distance b d'une couleur binaire au sommet du triangle équilatéral, la position de la couleur complémentaire sera donnée par la distance x qui la sépare du sommet correspondant, laquelle est représentée par

$$x = c \frac{\sin \alpha}{\sin(30^\circ + \alpha)},$$

formule dans laquelle c est une constante et α l'angle formé par la droite joignant les deux couleurs complémentaires avec la ligne médiane correspondante; α est d'ailleurs tiré de l'équation $b = c \tang \alpha$. La discussion de cette équation montre que, dès que α dépasse 45°, b croît bien plus rapidement que x. Il en résulte que les couleurs placées dans le voisinage d'un sommet occuperont dans la construction un espace plus grand que leurs complémentaires, qui se trouvent toutes réunies vers le milieu du côté opposé.

C'est-à-dire que les couleurs situées de part et d'autre d'une couleur primaire, et qui sont équidistantes à la vue, ont leurs complémentaires tellement rapprochées entre elles, qu'il devient difficile de distinguer celles qui sont consécutives.

Ce caractère remarquable est celui qui constitue la propriété fondamentale de la triade primaire. C'est ce phénomène qui a attiré mon attention quand j'ai étudié la répartition des couleurs complémentaires dans un cercle chromatique. Il n'est donc plus à vérifier expérimentalement; grâce à lui, j'ai pu fixer la position des

Digitized by Google

couleurs primaires entre des limites très étroites ; et il ne me reste plus qu'à prouver que dans ces limites se trouvent trois couleurs qui possèdent les caractères d'une triade; c'est ce que je ferai en montrant qu'elles obéissent à la loi des couleurs complémentaires [1] que j'ai formulée plus haut.

Le cycle des démonstrations se trouvera dès lors fermé. Toutes les preuves synthétiques et analytiques auront été données et l'accord entre les résultats de l'expérience et celui du calcul sera tel, que la théorie de Young pourra être considérée comme établie sur des bases scientifiques solides.

IV. — Détermination de la distance angulaire des couleurs.

La discussion qui précède montre qu'il faut distinguer deux catégories de couleurs non complémentaires :

1° Celles qui par leurs mélanges, à intensité égale, produisent la sensation du blanc;

2° Celles qui produisent cette sensation en dehors de ces proportions.

J'ai désigné par le mot *triade* un ensemble de trois couleurs remplissant les conditions de la première catégorie.

---

[1] Von Bezold (*Pogg. Ann.*, t. CL, p. 71; 1873) croit avoir donné la loi mathématique des couleurs complémentaires. Il a pris comme point de départ expérimental l'étude de la répartition de ces couleurs complémentaires dans le spectre, faite par Helmholtz. Malheureusement, il n'a pas su éviter une confusion qui existe d'ailleurs dans tous les Traités spéciaux et que le langage usuel qui se rapporte aux couleurs rend si facile.

Il introduit dans son calcul deux données absolument hétérogènes. L'une est le nombre de vibrations qui représente une couleur, valeur d'ordre purement physique et indépendante des propriétés de notre œil; l'autre est la loi du mélange des couleurs, l'hypothèse de Young, la notion des couleurs complémentaires essentiellement physiologique, puisqu'elle dépend de la structure de l'œil et qu'elle varie selon que ce dernier est normalement constitué ou non; aussi les résultats obtenus par Von Bezold présentent-ils avec l'expérience des écarts sensibles; il attribue aux perturbations apportées par la fluorescence des milieux de l'œil le manque d'accord qu'il a dû constater.

Le nombre des vibrations dans le cas actuel ne peut avoir de sens que si l'on s'en sert comme d'un moyen de nomenclature des couleurs et non d'une valeur mathématique à introduire dans les calculs. Les couleurs choisies par Von Bezold comme primaires sont du reste très loin de posséder les propriétés des sensations fondamentales.

Digitized by Google

Il résulte de leur définition qu'en représentant la Table des couleurs par un triangle équilatéral dont chaque sommet est occupé par l'une des couleurs d'une triade, les complémentaires se trouveront placées dans cette construction sur les côtés du triangle et aux extrémités d'une droite passant par le point de rencontre des médianes, tandis que cette régularité ne saurait exister pour la deuxième catégorie de trois couleurs.

Vérification expérimentale. — Elle consiste à reproduire toutes les couleurs par le mélange deux à deux des trois couleurs formant une triade, à déterminer pour chacune les proportions des deux composantes et à porter les valeurs obtenues sur les côtés d'un triangle équilatéral.

D'après la définition de la triade, les trois couleurs qui seront considérées comme primaires dans ces essais devraient posséder la même intensité. Cette condition n'est pas réalisée par les papiers colorés dont je me sers; mais il est aisé de tourner la difficulté en ramenant par un coefficient les valeurs obtenues à ce qu'elles seraient si les trois couleurs avaient la même intensité. Cette opération est nécessaire pour que le résultat des expériences soit indépendant de l'intensité des couleurs servant de point de départ et pour qu'il ait une signification générale.

En opérant avec les disques tournants, les angles des secteurs colorés nécessaires pour obtenir un effet donné sont en raison inverse de l'intensité des couleurs.

Dans le cas actuel, ce principe est applicable aux couleurs faisant partie d'une triade.

Par une première expérience, je détermine l'angle des secteurs nécessaire pour produire la sensation du blanc.

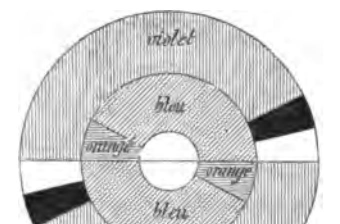
Le Tableau suivant donne les résultats de l'expérience; la première colonne exprime en degrés l'angle du secteur et la deuxième le coefficient par lequel ces chiffres sont à multiplier pour ramener à égale intensité :

	Angle du secteur.	Coefficient.	Produit.
Orangé............	40°	× 4,2	= 168
3ᵉ jaune vert.......	152	× 1,1	= 168
3ᵉ bleu............	168	× 1	= 168
	360		

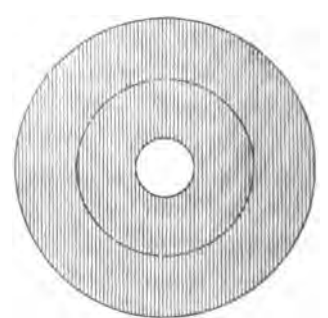
Dans toutes les expériences suivantes, les valeurs trouvées sont multipliées par ces coefficients. Une deuxième série d'expériences a pour but de déterminer les proportions de deux couleurs primaires qui sont nécessaires pour produire une couleur intermédiaire donnée. Soit à déterminer la composition d'une couleur comprise entre l'orangé et le 3e bleu.

Deux disques fendus (*fig.* 3), l'un coloré en orangé, l'autre pos-

Fig. 3.



Aspect du disque à l'état de repos.



Disque en mouvement.

sédant la couleur du 3e bleu, sont engagés l'un dans l'autre, de manière à ne former qu'un seul disque composé de deux secteurs orangés et de deux secteurs bleus disposés symétriquement par rapport à un diamètre.

Par la rotation rapide, ce système prendra la coloration de l'une des couleurs intermédiaires et cette couleur sera définie par les angles des secteurs des deux composantes.

Pour pouvoir comparer exactement la couleur résultant du mélange avec les types de mon cercle chromatique, je découpe avec ces derniers des secteurs d'un diamètre plus grand que je place derrière le premier disque et sur le même axe.

L'identité d'aspect, parfaite entre les deux systèmes, s'obtient en ajoutant au secteur de la couleur type un secteur blanc et des secteurs noirs. Ces derniers ne sont pas représentés par une matière, dans mes essais, mais par un trou noir au centre duquel aboutit normalement l'axe de rotation et devant lequel mes disques sont mis en mouvement. Quand, après quelques tâtonnements, on a obtenu l'identité d'aspect des deux disques concentriques, on met l'appareil au repos et on lit les angles des secteurs.

Digitized by Google

Je trouve ainsi pour le violet :

Orangé, $65^{\circ} +$ 3e bleu, $295^{\circ} =$ violet, $308^{\circ} + 26^{\circ}$ de blanc.

En multipliant l'orangé par son coefficient d'intensité 4,2 et en ramenant en centièmes, on trouve

Orangé	48
3e bleu	52

Ces chiffres représentent les intensités relatives des sensations primaires d'où résulte la sensation du violet.

Pour porter ces valeurs dans la construction graphique, je fais observer que la distance de l'orangé au 3e bleu étant représentée par 100, le violet sera placé à la 48e division comptée, non pas à partir de l'orangé, mais à partir du 3e bleu et à la 52e division, par conséquent comptée à partir de l'orangé. De même pour le rouge, dont la sensation est obtenue par

Orangé	80
3e bleu	20

il sera situé à la 20e division comptée à partir de l'orangé ; en général, les longueurs des lignes qui représentent les intensités seront en raison inverse de ces intensités relatives et ne leur seront pas proportionnelles ; cela uniquement dans le but d'obtenir une classification rationnelle. Si l'on prenait des longueurs proportionnelles aux intensités, on placerait le rouge plus près du bleu que de l'orangé et le violet plus près de l'orangé que du bleu, ce qui serait absurde.

L'analogie qui existe entre cet arrangement et la règle des leviers saute aux yeux. Ce rapprochement explique comment les sensations ont pu être assimilées à des poids, et comment un calcul de mélange des couleurs se trouve ramené à un calcul de centre de gravité.

La méthode expérimentale que je viens de décrire présente sur les deux précédentes l'avantage qu'elle donne des résultats absolument indépendants du cercle chromatique qui sert de point de départ. Ni l'inégale intensité des types de couleurs, ni leur défaut d'équidistance ne peuvent troubler les résultats : elle se borne à déterminer les rapports numériques des composantes d'un mélange de deux sensations.

Digitized by Google

Les Tableaux suivants expriment ces rapports en centièmes.

Intermédiaires entre l'orangé et le 3e bleu.

	Orangé.	3e bleu.
4e bleu....................	10,5	89,5
Bleu violet.................	21,5	78,5
2e bleu....................	31,5	68,5
4e bleu....................	41	59
Violet......................	47,5	52,5
1er violet..................	50	50
2e violet..................	54,5	45,5
4e violet..................	57	43
Violet rouge...............	63	37
Rouge..........	80	20
Orangé rouge..............	85	15
2e orangé rouge............	89	11
4e orangé rouge............	93,5	6,5
Orangé....................	100	0

De l'orangé au 3e jaune vert.

	Orangé.	3e jaune vert.
Orangé jaune..................	75	25
Jaune.........................	57	43
1er...........................	53	47
Entre le 1er et le 2e complémentaire du 3e bleu	50	50
2e jaune.......................	47,5	52,5
4e jaune.......................	42,5	57,5
Jaune vert.....................	34,5	65,5
2e jaune vert..................	23	77

Du 3e jaune vert au 3e bleu.

	3e bleu.	3e jaune vert.
Vert..................	15,5	84,5
2e vert................	29,5	70,5
4e vert................	42,8	57,2
5e vert................	45,5	54,5
Vert bleu..............	50	50
Bleu	78,8	21,2
2e bleu	89	11
3e bleu	100	0

Digitized by Google

En portant ces valeurs dans la construction et en réunissant les couleurs complémentaires par une droite, on constate que toutes ces lignes se croisent en un point unique, qui est le point d'intersection des médianes.

Les complémentaires des couleurs qui occupent le sommet se trouvent exactement au milieu du côté opposé.

Dans les calculs, je ne tiens aucun compte de la sensation du blanc qui se produit en même temps, mais uniquement de la sensation de la couleur, mon but, dans cette série d'expériences, étant de déterminer le rapport dans lequel deux sensations colorées différentes doivent être mélangées pour obtenir une sensation intermédiaire désignée d'avance.

J'ai répété la même série d'expériences en remplaçant méthodiquement l'une des trois couleurs par une autre. J'ai constaté qu'on ne peut pas s'écarter des trois couleurs ci-dessus désignées sans que la distribution des complémentaires ne devienne irrégulière.

Fig. 4.

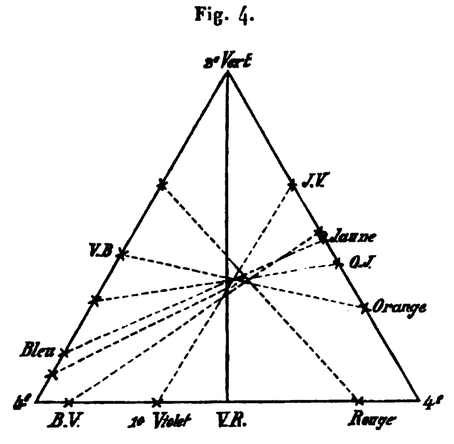


Diagramme des couleurs obtenu en prenant comme sensations fondamentales le 4e rouge, le 2e vert, et le 4e bleu. Ces trois couleurs ne constituent pas une triade.

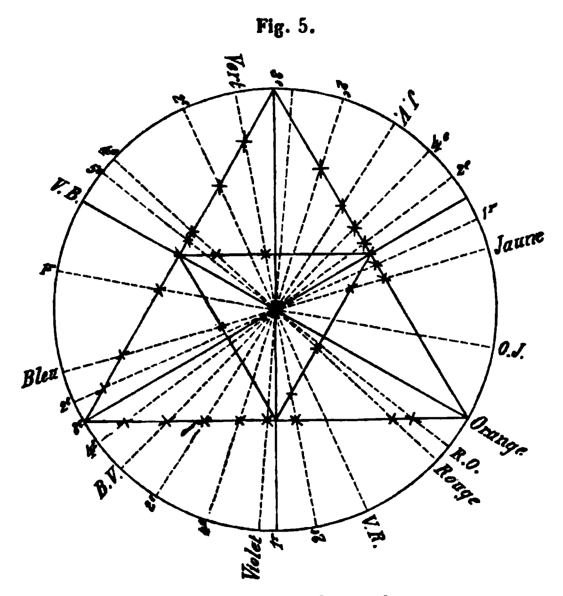
Ce sont notamment les trois couleurs qui, d'après Maxwell, correspondraient aux sensations fondamentales qui ont attiré mon attention. Les types qui dans mon cercle représentent le mieux ces couleurs sont : le 4e rouge, le 2e vert et le 4e bleu, fort voisines des précédentes. Les résultats de l'expérience sont représentés dans la *fig.* 4.

Digitized by Google

On voit que ce système ne donne aucun résultat régulier. Des couleurs fort voisines à la vue, comme le 4ᵉ vert et le vert bleu, y sont séparées par de grands espaces, tandis que des couleurs distinctes y sont très rapprochées et presque confondues, et les lignes qui réunissent deux couleurs complémentaires ne se croisent pas en un point unique.

Par ces expériences il est donc démontré que, en ce qui concerne les relations des couleurs entre elles, outre les complémentaires, il y a un groupe de trois couleurs qui possède les propriétés que j'ai réunies dans le mot *triade* et que l'orangé, le 3ᵉ jaune vert et le 3ᵉ bleu constituent une triade.

Fig. 5.



Distance angulaire des couleurs.

Pour compléter la démonstration, il me reste à prouver que toutes les couleurs dont la distance angulaire est de 120°, c'est-à-dire qui occupent les sommets de tous les triangles équilatéraux inscrits dans le triangle primaire possèdent les mêmes propriétés.

J'ai recommencé le même travail en prenant comme point de départ la triade formée par le 1ᵉʳ violet, le vert bleu et un jaune compris entre le premier et le deuxième jaune de mon cercle chromatique.

Digitized by Google

Chacune de ces trois couleurs est complémentaire de l'une de celles qui composent la première triade. Elles occupent les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la figure et j'ai indiqué sur les côtés de ce triangle la position des couleurs résultant du mélange deux à deux de celles qui constituent cette triade. Le résultat obtenu est fort intéressant. On remarquera que : 1° les complémentaires se trouvent encore aux deux extrémités d'une droite passant par le point de rencontre des médianes, et 2° la nouvelle *fig.* 5 est exactement superposable à la première en ce qui concerne la position relative des couleurs intermédiaires. On peut conclure de cette coïncidence que *la distance angulaire des couleurs est la même, quelle que soit la triade qui sert de point de départ.*

La distance angulaire est donc déterminée une fois pour toutes, et l'une des triades étant trouvée, les autres le sont de même.

Voici les positions relatives dans le spectre des couleurs primaires de Maxwell et de celles qui ressortent de ces expériences :

MAXWELL.		ROSENSTIEHL.	
Place dans le cercle chromatique.	Place dans le spectre.	Place dans le cercle chromatique.	Place dans le spectre.
3e ou 4e rouge....	$\frac{1}{3}$ de C vers D	Orangé.........	$\frac{3}{4}$ de C vers D
Vert............	$\frac{1}{4}$ de E vers F	3e jaune vert....	$\frac{3}{4}$ de D vers E
4e ou 5e bleu.....	$\frac{1}{2}$ de F vers G	3e bleu.........	$\frac{1}{3}$ de F à G

Quelle est maintenant, d'après ces expériences, la forme de la Table des couleurs? La détermination de la distance angulaire ne résout nullement la question et on peut projeter la figure que j'en ai donnée sur un polygone d'une forme quelconque. Mais, parmi ces polygones, il n'y en a qu'un qui puisse être la représentation de la vérité : c'est celui pour lequel les couleurs placées à égale distance sur le périmètre paraissent aussi équidistantes à la vue.

Pour résoudre la question définitivement, nous n'avons plus pour nous guider des mesures exactes, mais uniquement les appréciations de l'œil en ce qui concerne l'équidistance à la vue des couleurs voisines.

Nous avons à juger en premier lieu si cette équidistance correspond à une égale distance angulaire. S'il en est ainsi, la Table des

Digitized by Google

couleurs serait limitée par un cercle, et la théorie des trois sensations fondamentales devrait être abandonnée définitivement. Si au contraire il y a des couleurs équidistantes à la vue dont les complémentaires (pour lesquelles la distance angulaire est nécessairement la même) paraissent plus éloignées ou plus rapprochées entre elles, la Table des couleurs présente des angles.

Or l'étude que j'ai faite précédemment de la distribution des couleurs complémentaires dans un cercle chromatique montre qu'il en est incontestablement ainsi : toutes les couleurs comprises entre le rouge et l'orangé jaune qui sont fort distinctes à la vue ont des complémentaires très rapprochées du vert bleu; et celles qui sont comprises entre le bleu et le bleu violet ont leurs complémentaires voisines du jaune.

Il y a donc des sommets vers le bleu violet et vers l'orangé. Je ne puis en dire autant pour les couleurs voisines du 3e jaune vert, pour lesquelles la distance à la vue ne me paraît pas bien plus considérable que celle qui sépare les violets complémentaires. Il se peut que du côté de cette couleur la Table des couleurs soit limitée par un arc de cercle; mais il est aussi possible que mon jugement soit influencé par l'inégale pureté des couleurs qui composent mon cercle chromatique et que, si je pouvais répéter mes expériences avec un cercle plus parfait, cette différence disparaîtrait.

Pour le moment, cette question reste ouverte et je résumerai ainsi les conclusions principales de ce travail.

Résumé.

Parmi les couleurs (considérées comme sensations) il y en a qui ont entre elles des relations définies. Il faut distinguer : 1° les couleurs complémentaires, c'est-à-dire qui, par leur mélange deux à deux, produisent la sensation du blanc; 2° les triades, c'est-à-dire celles qui produisent cette sensation par leur mélange trois à trois à intensité égale.

Si les couleurs des triades se trouvent représentées par des objets qui sont colorés avec une intensité différente, les *angles des secteurs* nécessaires pour produire sur un disque tournant la sensation de blanc *sont en raison inverse de ces intensités* et peuvent leur servir de mesure.

Digitized by Google

Une première triade a été trouvée par deux procédés différents; l'un consiste à faire un mélange de deux couleurs, dont l'une reste constante et l'autre varie méthodiquement, et de déterminer lequel de ces mélanges produit une certaine couleur intermédiaire avec le plus d'intensité. L'autre consiste à étudier la répartition des couleurs complémentaires dans un cercle chromatique et à discuter les résultats de cette étude, en se fondant sur l'équidistance à la vue des couleurs comprises entre des limites suffisamment rapprochées. Cette triade une fois déterminée, on a pu trouver la loi des couleurs complémentaires dont l'expression mathématique a été vérifiée expérimentalement. Par la connaissance de la première triade toutes les autres sont connues et la distance angulaire des couleurs a été déterminée par une méthode indépendante des défauts d'exécution du cercle chromatique qui a servi aux deux premières séries d'expériences.

La Table des couleurs a été projetée sur un triangle équilatéral aux sommets duquel on a inscrit les couleurs de la première triade trouvée. Parmi toutes les triades possibles, c'est elle qui répond le plus, par ses propriétés, à la définition de la triade primaire, au moins dans l'état actuel de la question.

Elle suffit pour expliquer les faits connus et les relier en un seul corps de doctrine. La figure que j'ai donnée de la distance angulaire des couleurs représente le premier plan de classification qui ait été établi sur des bases scientifiques et résume la loi du mélange des couleurs; elle se substituera avec avantage à la règle de Newton dont elle justifie le principe.

Enfin ces recherches démontrent que les disques tournants employés avec méthode à l'exemple de Maxwell permettent d'appliquer les procédés exacts des Sciences physiques à une question de Physiologie que les traités spéciaux présentent comme étant encore hors de la portée de nos moyens d'expérimentation.

Digitized by Google

Conjoncteur et disjoncteur automatique pour le chargement des piles secondaires; par M. Hospitalier.

Lorsqu'on charge une pile secondaire avec une machine magnéto-électrique, si, pour une cause quelconque, la machine s'arrête ou ralentit son allure au-dessous d'une certaine vitesse, la force électromotrice de la source devient inférieure à celle du courant de la pile en charge, et la pile se décharge alors dans la machine pour aider à son mouvement, dépensant ainsi en pure perte ce qu'elle avait emmagasiné précédemment.

Pour remédier à cet inconvénient, j'ai imaginé un appareil automatique qui a pour effet de mettre la pile secondaire en *circuit ouvert* dès que la source électrique est insuffisante pour charger la batterie secondaire, et de la replacer dans le circuit de cette source dès que le courant est redevenu assez intense pour effectuer de nouveau le chargement de la pile.

L'appareil représenté dans le diagramme ci-contre se compose d'un électro-aimant TT', sur lequel sont enroulés deux fils, l'un très gros et très court, ne faisant que quelques tours sur les bobines, le second très fin et très long, roulé par dessus le gros fil. Une armature en fer doux NN se meut devant l'électro-aimant en oscillant autour de son point de suspension O; sa course est limitée par les vis de réglage V, V', et un aimant permanent SS', placé en regard de NN', forme ressort antagoniste en agissant sur l'armature, avec cette différence essentielle que l'effet maximum se produit au moment où le mouvement de l'armature commence, ce qui produit chaque fois un déplacement décidé de l'armature, sans mouvement de trembleur. La machine est reliée aux bornes M, M', la pile secondaire aux bornes P, P' et les fils aboutissent à quatre ressorts A, B, C, D, formant deux contacts électriques en 1 et en 2, comme nous allons le voir à l'instant. Le diagramme montre la liaison des fils de l'électro-aimant avec les lames et les bornes. Voici maintenant comment fonctionne l'appareil.

Supposons d'abord que le courant soit assez puissant pour charger la pile secondaire : dans ce cas, l'armature NN' est dans la position représentée par le diagramme. Le courant venant de la source électrique en M traverse le gros fil, passe par G, B, le con-

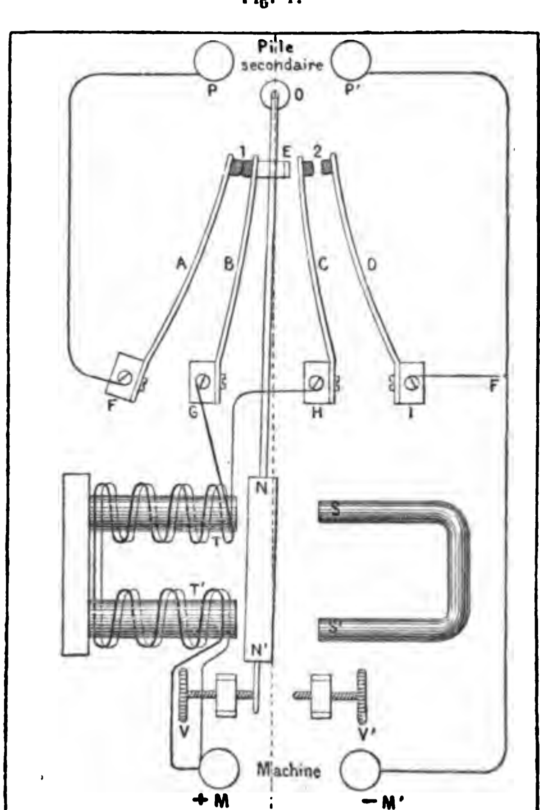
Digitized by Google

tact 1 (établi par la pièce isolante E fixée sur la tige O, N), le levier A, le fil FP, la pile secondaire placée en P, P′, et revient à la machine par P′M′.

Le contact 2 étant rompu, le fil fin de l'électro-aimant n'est traversé par aucun courant.

Supposons que la force électro-motrice de la source diminue

Fig. 1.



graduellement : à un moment donné, il y aura équilibre entre la force électro-motrice de la source et celle de la pile. A ce moment, l'électro-aimant TT′ lâchera son armature, le gros fil n'étant plus traversé par aucun courant; l'armature sollicitée par la pesanteur et la force attractive de l'aimant SS′ viendra se placer dans une position symétrique, par rapport à la verticale, du côté de SS′, et

Digitized by Google

sera maintenu en place par l'aimant permanent SS'. Mais, pendant ce mouvement, le contact 1 se sera rompu, la pile secondaire se trouvera en circuit ouvert; le contact 2 se sera établi en même temps, et la source électrique enverra alors son courant *dans le fil fin* de l'électro-aimant. Si l'appareil est bien réglé, au moment même où la source aura une puissance suffisante pour charger la pile, l'armature sera attirée par T, T', et en vertu de son inertie viendra, une fois lancée, jusqu'à sa position initiale, où elle sera maintenue par le courant de charge jusqu'à un nouvel affaiblissement, et ainsi de suite.

En intercalant cet appareil entre une source électrique et une pile secondaire, on est donc assuré de ne jamais décharger cette dernière si la source vient à faiblir. Le gros fil a pour but de ne pas intercaler de résistance inutile dans le circuit au moment de la charge, et le fil fin qui sert au *réamorçage* de l'appareil a pour effet de mettre la source en long circuit, pour ne pas dépenser une trop grande somme de travail mécanique pendant qu'elle ne produit pas de travail utile.

Il est facile d'adjoindre au système une sonnerie qui fonctionne pendant tout le temps de la charge et reste muette tant que la pile est en circuit ouvert, ou inversement.

L'appareil peut être employé pour l'utilisation des forces naturelles et variables, vents, cours d'eau et marées, en actionnant une machine magnéto-électrique qui, lorsque la vitesse sera suffisante, pourra charger des piles secondaires. Il est applicable aussi pour charger les accumulateurs des freins électriques par la marche des véhicules mêmes, sans machine auxiliaire; il suffit de modifier légèrement la forme de l'appareil et de le rendre insensible aux trépidations du train. Avec des machines dynamo-électriques, il faut naturellement employer une excitatrice séparée ou placer les inducteurs en dérivation.

Digitized by Google

SÉANCE EXTRAORDINAIRE DU 23 SEPTEMBRE 1881.

A l'occasion de l'Exposition d'électricité.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Stoletow, professeur à l'Université de Moscou, décrit la méthode qu'il a employée pour déterminer le rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques, et met sous les yeux de la Société le dessin de l'appareil qui figure à l'Exposition d'électricité.

Sir W. Thomson, membre honoraire de la Société, montre comment il résulte de la loi de variation diurne du baromètre, telle que la donne l'observation, une cause d'accélération pour le mouvement de rotation de la Terre, accélération qui agit en sens contraire de la retardation produite par les marées.

M. Mach, professeur à l'Université de Prague, expose l'ensemble de ses recherches sur les ondes aériennes produites par les étincelles.

M. Melsens, membre de l'Académie des Sciences de Belgique, fait connaître les résultats de ses expériences sur l'entraînement des gaz par les projectiles.

Sur une méthode pour déterminer le rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques (le v de Maxwell), par M. A. Stoletow, professeur à l'Université de Moscou.

L'objet du présent travail est une détermination exacte du rapport entre les unités électromagnétiques et électrostatiques, de cette vitesse (le v de Maxwell) qui serait la vitesse de propagation des effets électromagnétiques dans l'air (ou dans le vide), et qui, selon toute probabilité, ne diffère pas de la vitesse de la lumière dans le même milieu.

Parmi les différentes méthodes qui ont été employées pour fixer

Digitized by Google

la valeur de v, il en est une qui, à mon avis, est capable de fournir des résultats très exacts : c'est la méthode du *condensateur absolu*, c'est-à-dire d'un condensateur à air (ou à vide), dont la capacité peut être calculée exactement d'après sa forme et ses dimensions. Un condensateur à deux surfaces planes et parallèles, muni d'un anneau de garde (guard-ring) suivant la méthode de sir W. Thomson, satisfait à ces conditions. La théorie rigoureuse de cet arrangement a été donnée, il y a quelques années, par M. le professeur Kirchhoff (1).

On charge ce condensateur par une pile voltaïque, et l'on compare le courant de décharge au courant constant, qui est directement produit par la même pile dans un circuit de résistance donnée. C'est une modification du procédé de MM. Weber et Kohlrausch, qui ont donné la première évaluation de la vitesse en question. Ceux-ci se servaient aussi d'un condensateur, mais c'était une bouteille de Leyde dont la capacité ne pouvait pas être *calculée*, de sorte qu'on était obligé de la mesurer par une voie indirecte (2).

Après avoir été plusieurs fois remanié d'après les indications de l'expérience, le condensateur que j'ai employé a pris la forme définitive qui est représentée ci-contre.

Sur un trépied général A en fonte est fixé un anneau en laiton B, portant trois vis micrométriques C. Sur ces vis repose le disque inférieur D du condensateur. Le disque supérieur H et l'anneau F qui l'entoure (avec un intervalle qui se rétrécit en bas jusqu'à $\frac{1}{8}$ de millimètre) sont munis chacun de trois bras (J et G), à vis de support, qui reposent sur trois montants massifs bifurqués, fixés sur le trépied général. Les surfaces intérieures des deux disques D, H et de l'anneau F sont rodées sur un plan, nickelées et polies. Dans chacun des intervalles des deux bras J et G correspondants, un

(1) *Monatsberichte der Berliner Akad.*; 1877.

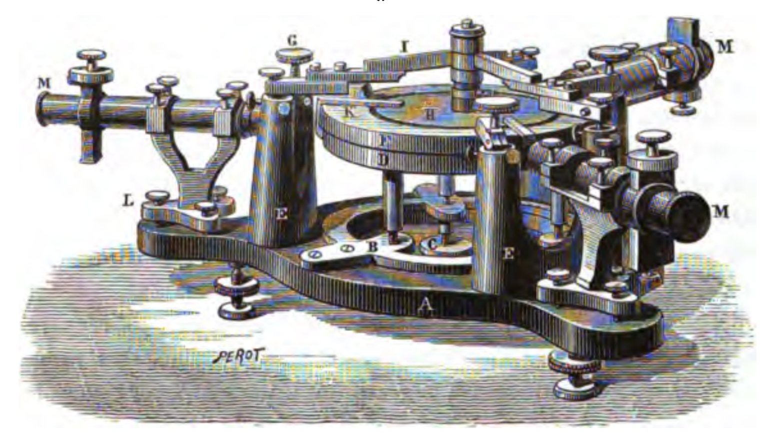
(2) La modification dont je parle se trouve maintenant indiquée dans le livre de Maxwell (*Treatise on Electricity and Magnetism*, t. II, art. 774); mais, avant que ce Traité ait été publié, il m'est venu l'idée de réaliser cette méthode. Je travaillais alors à Heidelberg (c'était en 1871), et je dois quelques indications utiles à mon illustre maître M. le professeur Kirchhoff. L'appareil a été immédiatement projeté et commandé chez le Dr Meyerstein, à Göttingue, mais ce n'est que trois ans après qu'il a été reçu à Moscou.

Digitized by Google

microscope M, à oculaire micrométrique, vient se placer ; il est monté sur un trépied L qui permet de faire de petits mouvements de toute sorte, et que l'on fixe quand le tube est bien réglé. On a omis sur le dessin : 1° un couvercle métallique qui se met sur l'anneau, et grâce auquel le petit disque F forme une partie d'un conducteur à peu près fermé, et 2° une enveloppe métallique à fenêtres, qui entoure les parties D, F, H en laissant passer les



Fig. 1.



tubes des microscopes. Des index (à traits horizontaux sur argent) sont adaptés au bord du disque D, à celui de l'anneau F et aux bouts des petits bras K sortant du disque H. Les trois index voisins sont séparés par des intervalles très minces, et se laissent viser simultanément par le microscope correspondant. La *fig.* 2 fait voir

Fig. 2.

la disposition des index *a*, *b*, *c*, qu'il était impossible de bien indiquer sur le dessin général de l'appareil. Les microscopes sont munis de réflecteurs paraboliques, et l'éclairage des index se fait de côté, à l'aide de lampes.

Les résultats de mes premières expériences n'ont été donnés, et cela très sommairement, qu'en 1876, au Congrès des Naturalistes

Digitized by Google

russes à Varsovie. Trois ans après, MM. Ayrton et Perry [1], sans rien savoir de mes recherches, ont publié un travail basé sur une méthode à peu près identique.

Dans les deux cas, on s'est servi d'un condensateur plan, système de sir W. Thomson.

Ce qui distingue mon arrangement de celui des deux physiciens anglais, c'est le degré de sensibilité, le mien n'exigeant pas l'emploi d'une grande pile. Ce résultat est obtenu grâce à la disposition suivante :

1° D'abord, la couche d'air comprise entre les deux plans de mon condensateur est beaucoup plus mince : elle n'a que 1^{mm} à 2^{mm} d'épaisseur. Néanmoins, le réglage et la mesure de cette épaisseur peuvent se faire avec une grande précision, grâce aux trois micromètres très sensibles et soigneusement gradués.

On commence par faire reposer le disque supérieur et l'anneau sur le disque inférieur, et l'on remarque la position initiale des index ajustés à ces trois parties de l'appareil à l'aide des micromètres; puis, à l'aide des vis micrométriques, on fait reculer le disque inférieur d'une distance égale et donnée, et l'on ramène l'autre disque et l'anneau à la position initiale. On est sûr alors que les surfaces intérieures du petit disque et de l'anneau sont bien dans le même plan, qui est parallèle à la surface polie du disque inférieur.

2° Au lieu de mesurer une seule décharge à l'aide d'un galvanomètre balistique spécialement construit pour ce but, comme le faisaient MM. Ayrton et Perry, je laisse passer dans un galvanomètre ordinaire Thomson une suite de décharges, environ cent par seconde, qui agissent sur l'aiguille comme un courant constant. On atteint ce résultat au moyen d'un commutateur ou distributeur tournant, assez analogue à celui du télégraphe Baudot, et dont l'emploi constitue un autre point de différence entre les deux méthodes.

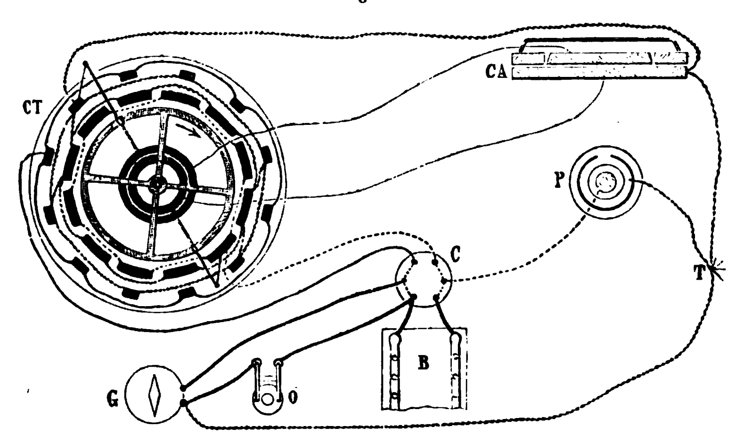
Le diagramme ci-joint laisse voir la disposition générale des appareils. CA est le condensateur absolu, P la pile, CT le commutateur tournant, G un galvanomètre astatique de sir W. Thomson à grande résistance, B une boîte de résistance (total = 10000 ohms), O un

[1] *Philos. Mag.*, 5e série, t. VII, p. 277; 1879.

Digitized by Google

shunt (= 1 ohm), T la communication à la terre. Le commutateur C permet de passer d'une sorte de mesure à l'autre. Avec la commutation 1,1 on mesure le courant de décharge; avec celle 2,2 on mesure une petite portion du courant direct de la pile. On a omis les appareils auxiliaires, à savoir : le moteur qui communique la rotation (c'est un petit électromoteur de M. Helmholtz), le chro-


Fig. 3.



nographe enregistrant les tours, de cent en cent, et les commutateurs servant à intervertir les pôles de la pile et du galvanomètre.

Le commutateur tournant a une double rangée de cuvettes à mercure, sur lesquelles tourne une roue munie de deux aiguilles inclinées qui communiquent aux disques du condensateur et qui viennent toucher le mercure. Les cuvettes de chaque rangée communiquent deux à deux, et établissent la communication des disques au pôle isolé de la pile, à la terre et au galvanomètre. Il est aisé de voir qu'à chaque tour de la roue on a six charges et six décharges du disque supérieur, décharges traversant le galvanomètre. De plus, les conditions nécessaires pour l'emploi régulier d'un condensateur à anneau se trouvent remplies : le disque supérieur se charge pendant qu'il est au même potentiel (zéro) que l'anneau et que l'autre disque est à un potentiel différent; puis le disque supérieur reste isolé, et il ne se décharge qu'après que l'autre a été ramené au zéro.

Digitized by Google

Grâce à ces dispositions, dont j'omets les détails, au lieu d'une pile de plus de 200 daniells, comme celle de MM. Ayrton et Perry, je n'emploie que 1 ou 2 daniells; un seul élément de M. Latimer Clark suffit. Il y a là, à mon avis, des avantages assez considérables. Une petite pile, comme la mienne, peut être plus aisément maintenue dans un état de constance parfaite. On pourra même (ce que je n'ai pas encore essayé) se servir d'une pile thermo-électrique à températures constantes, comme celle de Pouillet. On est donc plus sûr que la force électromotrice qui sert à charger le condensateur est bien la même que celle que possède la pile quand elle est fermée pour laisser passer un courant. Du reste, une petite modification dans la disposition permet de faire les deux mesures (1 et 2) en maintenant la pile fermée, et d'avoir ainsi deux effets de la même différence de potentiels.

J'ajouterai encore qu'en expérimentant avec une petite force électromotrice on n'a pas besoin de trop grandes précautions pour avoir une isolation parfaite, et que même l'emploi des pointes dans le distributeur (on pourrait les remplacer par des brosses) ne présente aucun danger d'inexactitude.

Les formules servant à calculer v sont très simples. Soit C la capacité du condensateur en mesure électrostatique, c'est-à-dire $\frac{S}{4\pi\delta}$, S étant la surface du disque à décharger (ou mieux encore la moyenne entre celle-ci et l'ouverture de l'anneau), δ la distance des deux disques; $\frac{C}{v^2}$ sera la même capacité en mesure électromagnétique.

Soient n le nombre de décharges par seconde, F la force électromotrice, i la déviation du galvanomètre par le courant quasi constant de décharge, A la constante du galvanomètre. On a

$$nF\frac{C}{v^2} = Ai.$$

D'une autre part, soient r la résistance du circuit principal (fermé avec le commutateur en 2, 2), r_s la résistance du shunt, r_g celle du galvanomètre; soit i' la déviation du galvanomètre,

$$\frac{Fr_s}{rr_s + rr_g + r_g r_s} = Ai'.$$

Digitized by Google

De ces deux équations on tire la valeur v. F et A disparaissent, et l'on n'a dans la formule qu'un temps, une longueur, une résistance en unités absolues et, en outre, un rapport de deux courants et un rapport de deux résistances.

Il y a deux corrections à faire quand on mesure la capacité C. Il y a d'abord une capacité additive, provenant des autres pièces de métal liées avec le disque supérieur. En outre, il y a une erreur inévitable dans l'évaluation de la distance absolue, les plans n'étant pas géométriquement parfaits. La capacité aura donc la forme

$$C = \frac{S}{4\pi(\delta + x)} + y.$$

Ces deux corrections se trouvent par des expériences à part. Pour mieux apprécier y, on sépare les deux disques d'une quantité considérable et l'on prend une pile un peu plus grande. En faisant l'expérience avec deux distances δ et δ_1, on a (puisque l'on peut négliger x)

$$\frac{S}{4\pi\delta} + y : \frac{S}{4\pi\delta_1} + y = i : i_1,$$

d'où l'on trouve y.

D'autre part, y étant trouvé, on n'a qu'à faire deux séries d'expériences avec les disques très rapprochés et le galvanomètre shunté, pour évaluer x.

Je ne dis rien d'autres corrections qui découlent de la théorie rigoureuse, parce que, pour le degré de précision que je suis en état d'atteindre, elles sont tout à fait insignifiantes.

Mes expériences ont donné des résultats très voisins de ceux obtenus par MM. Ayrton et Perry et plus récemment par M. Shida (298000^{km} à 300000^{km} par seconde); mais je ne saurais me décider pour un chiffre définitif. Un accident survenu à l'un de mes disques m'a empêché d'entreprendre une série d'expériences avec l'appareil remanié et perfectionné de nouveau, et ces expériences seront reprises aussitôt qu'il sera possible.

Mais ce n'est ni le résultat définitif que je suis ou que je serai en état d'obtenir que je tiens à énoncer, ni une réclamation de priorité que je veux faire. Mes appareils, tels qu'il sont ou tels qu'ils seront sous peu, sont loin d'être parfaits, mais une longue étude de la question m'a bien montré que ce n'est pas la méthode qui fait défaut. Je

Digitized by Google

suis sûr qu'une série d'expériences faites d'après le plan que je viens d'ébaucher, mais avec des instruments de premier ordre, pourrait fournir la valeur de v avec quatre chiffres précis. C'est pourquoi j'aimerais voir mon programme réalisé, parmi les travaux liés à ceux de la Commission internationale de l'ohm.

La méthode dont je parle exige une connaissance exacte de la valeur de l'ohm étalon dont je me suis servi. Une erreur de 1 pour 100 dans la valeur supposée de cet étalon amène une erreur de $\frac{1}{2}$ pour 100 dans celle de v. C'est là, si l'on veut, un défaut de la méthode, mais on sait que, grâce aux décisions du Congrès international des électriciens, la redétermination de la valeur de l'ohm est mise à l'ordre du jour et ne peut se faire longtemps attendre.

Accélération thermodynamique du mouvement de rotation de la Terre; par sir W. Thomson, F. R. S.

C'est un fait aujourd'hui bien connu, et il a été signalé, je crois, pour la première fois par Kant, et porté depuis par Delaunay presque au rang d'une vérité pratique, que, par suite de l'imparfaite fluidité des eaux de l'Océan, les marées ont pour effet de diminuer la vitesse de rotation de la Terre. Toutes les pertes d'énergie qui résultent des frottements intérieurs ou, plus correctement, de la déformation continue de la masse fluide, dans les oscillations de la marée, ont pour résultat final de déplacer, pour l'ensemble des points du globe, l'heure de la haute mer; celle-ci ne correspond ni *au passage* ni à 6 *heures,* comme cela aurait lieu si l'Océan était parfaitement fluide, mais à une époque intermédiaire entre ces deux instants (1).

Ainsi, pour la marée lunaire, l'effet général de la déformation

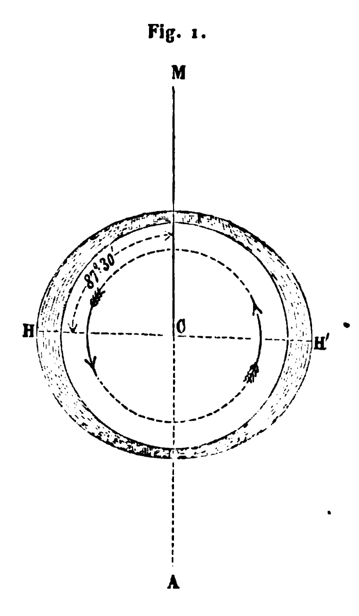
(1) Par abréviation, j'appelle *passage* l'heure du passage au méridien soit de l'astre, Soleil ou Lune, qui produit la marée, soit du point du ciel qui lui est diamétralement opposé, et *six heures,* l'instant qui sépare en deux parties égales l'intervalle qui s'écoule entre deux passages consécutifs ainsi définis. Supposons, pour fixer les idées, qu'il s'agisse de la marée lunaire seule, abstraction faite de celle qui est due au Soleil, j'appelle *six heures* l'instant qui précède ou suit de 6^h lunaires le passage de la Lune au méridien.


Digitized by Google

des eaux peut être représenté par deux protubérances diamétralement opposées; seulement l'axe de ces protubérances n'est pas dirigé suivant la Lune et l'anti-Lune, mais est incliné sur la ligne qui joint ces deux points dans le sens indiqué dans la *fig.* 1, dans laquelle AM est la droite qui joint la Lune et l'anti-Lune, et HH′ l'axe du sphéroïde idéal qui représenterait, à un instant donné, l'ensemble du niveau des eaux à la surface du globe. Sur la figure, cet angle est pris égal à 87°30′, ce qui revient à supposer que l'heure de la haute mer est, en moyenne, 6 heures moins 10 minutes, temps lunaire, pour toute la Terre.

Il est évident que, dans ces conditions, la résultante des actions exercées par la Lune sur les parties liquides et les parties solides qui constituent le globe n'est pas une force unique dirigée suivant la ligne MC des centres; mais qu'on peut la représenter, à la

Fig. 1.

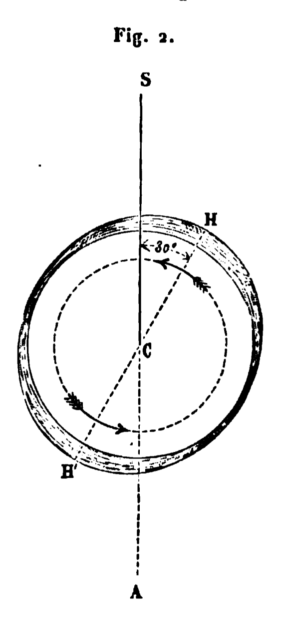


manière de Poinsot, par le système d'une force unique dirigée suivant cette droite et d'un couple de sens opposé à celui des flèches qui indiquent sur la figure le sens de la rotation de la Terre. Il en résulte que l'action de la Lune est équivalente à celle d'un frein qui s'opposerait au mouvement de la Terre. Il est évident qu'il en serait de même de l'action du Soleil, dans les mêmes conditions.

Digitized by Google

L'effet serait inverse et tendrait, au contraire, à accélérer le mouvement de rotation, si l'axe HH' des protubérances avait la position indiquée dans la *fig.* 2. Or, il résulte des observations que ce cas est précisément celui que présente le Soleil par rapport, non pas aux eaux de l'Océan, mais à l'atmosphère terrestre. La Table ci-jointe donne le résultat, pour la période diurne, de l'application de l'analyse harmonique de Fourier, faite par M. Simmonds, aux observations barométriques recueillies sur des points

Fig. 2.



très variés du globe. Dans la formule qui est en tête du Tableau, E_θ représente l'excès de la pression barométrique sur la moyenne diurne au temps θ, compté en degrés à partir de minuit, à raison de 15° par heure solaire moyenne, R_1 et C_1, R_2 et C_2, R_3 et C_3 désignent les amplitudes et les arcs qui correspondent aux maxima des trois premiers termes de la série de Fourier. Les cinq premières colonnes du Tableau donnent l'indication des lieux et des époques des observations qui ont servi à calculer les valeurs de R et de C.

Digitized by Google

$$E = R_1 \cos(\theta + C_1) + R_2 \cos(2\theta + C_2) + R_3 \cos(3\theta + C_3).$$

NOMS DES VILLES.	LATITUDE.	LONGITUDE.	ALTITUDE.	PÉRIODE D'OBSERVATION.	COMPOSANTES diurnes. R_1.	COMPOSANTES diurnes. C_1.	COMPOSANTES semi-diurnes. R_2.	COMPOSANTES semi-diurnes. C_2.	COMPOSANTES tiers-diurnes. R_3.	COMPOSANTES tiers-diurnes. C_3.
	° ′	° ′			mm	°	mm	°	mm	°
Singapour	1.27 N	103.49 E	faible.	5 ans de 1841 à 1845.	0,533	280,3	0,983	66,0	0,038	333,3
Trevandrum	8.31 N	77. 0 E	59m	5 » juin 1837 à mai 1842.	0,391	290,3	1,077	68,2	0,033	293,1
Madras	13. 4 N	80.14 E	7	7 » 1844 à 1850.	0,594	268,9	1,097	67,6	0,018	270,0
Bombay	18.53 N	72.48 E	12	17 » 1846 à 1862.	0,503	242,9	0,973	66,4	0,036	286,3
Calcutta	22.31 N	88.21 E	5	15 » 1855 à 1869.	0,686	250,9	1,001	61,6	0,030	258,5
Simla	31. 6 N	77.12 E	2119	5,5 » juill. 1841 à déc. 1846.	0,254	185,7	0,533	48,7	0,038	248,3
Lisbonne	38.43 N	9. 8 E	102	6,9 » janv. 1864 à nov. 1870.	0,135	246,6	0,447	62,1	0,056	272,4
Pékin	39.57 N	116.29 E	31	6 » 1850 à 1855.	0,749	270,8	0,551	54,8	0,066	256,0
Washington	38.54 N	77. 3 W	31	9 » 1861 à 1869.	0,427	265,6	0,511	73,8	0,061	172,9
Girard-College (Philadelphie)	39.58 N	75.11 W	34	5,1 » juin 1840 à juin 1845.	0,465	266,6	0,455	75,8	0,046	282,1
Toronto	43.40 N	79.21 W	104	7 » 1841 à 1847.	0,356	242,4	0,323	81,5	0,051	291,7
Tiflis (Awlaba)	41.42 N	44.50 E	457	7,3 » janv. 1855 à avril 1862.	0,625	288,6	0,361	67,5	0 053	242,3
Tiflis (Kuki)	41.43 N	»	409	9,7 » mai 1862 à déc. 1871.	0,676	294,3	0,411	70,9	0,046	267,1
Vienne	48.13 N	16.23 E	198	7,9 » 1849 à 1856 (omettant un mois d'avril).	0,173	262,4	0,287	59,5	0,030	272,2
Cracovie	50. 4 N	19.58 E	217	7 » 1850 à 1856.	0.127	287,5	0,168	42,5	0,041	256,4
Prague	50. 5 N	14.25 E	107	27 » 1842 à 1868.	0,254	271,5	0,218	55,1	0,028	281,8
Bruxelles	50.51 N	4.22 E	58	28 » 1842 à 1869.	0 048	268,8	0,241	56,1	0,030	278,7
Greenwich	51.29 N	0. 0	48	7 » 1841 à 1847.	0,028	133,9	0,264	57,9	0,010	326,6
Oxford	51.46 N	1.15 W	65	16 » 1855 à 1870.	0,117	312,7	0,244	66,1	0,033	273,3
Nertchinsk	51.18 N	119.30 E	680	19 » 1842 à 1845. 1848 à 1855. 1856 à 1862.	0,320	283,1	0,249	71,1	0,041	236,0
Barnaoul	53.20 N	83.37 E	122	17 » 1842 à 1845. 1850 à 1855. 1856 à 1862.	0,117	189,2	0,112	72,0	0,028	262,3
Catherinenbourg	56.50 N	60.34 E	248	18 » 1842 à 1845. 1849 à 1855. 1856 à 1862.	0,031	325,4	0,089	62,8	0,008	212,7
Sitka	57. 9 N	135.18 W	5	10 » 1843 à 1845, 1848. 1850 à 1854, 1856.	0,071	135,9	0,094	— 6,3	0,008	147,3
Saint-Pétersbourg	59.57 N	30.28 E	5	22 » 1841 à 1862.	0,036	150,7	0,089	6,2	0,015	206,9
Batavia	6.11 S	106.50 E	7	7 » 1866 à 1872.	0,607	293,6	0,937	67,3	0,041	281,8
Ascension	7.55 S	0.58 W	16	2 » sept. 1863 à août 1865.	0.269	287,4	0,709	66,5	0,010	206,6
Sainte-Hélène	15.57 S	5 41 W	538	6 » 1841 à 1846.	0,180	234,1	0,744	63 4	0,036	348,0
Santiago (Chili)	33.26 S	70.38 W	546	2,9 » nov. 1849 à sept. 1852.	0,165	253,8	0,399	77,2	0,036	105 0
Cap de Bne-Espérance	33.56 S	18.29 E	faible.	5,2 » avril 1841 à juin 1846.	0,119	257,8	0,488	72,0	0,036	281,8
Hobarton	44.52 S	147.27 E	32	7 » 1841 à 1847.	0,312	317,5	0,500	84,1	0,046	287,6

(1) Extrait du *Quarterly Journal of the Meteorological Society*, janvier 1880; *The diurnal range of atmospheric pressure*, par Robert Strahan F. M. S.

Digitized by Google

Un fait extrêmement remarquable ressort de l'examen de ce Tableau, c'est que l'amplitude R_2 des termes semi-diurnes est, pour la plupart des stations, et principalement pour celles qui sont comprises dans les quarante premiers degrés de latitude de part et d'autre de l'équateur, notablement plus grande que l'amplitude R_1 du terme diurne.

La cause de l'oscillation semi-diurne de la pression barométrique ne peut pas être cherchée dans l'attraction du Soleil et considérée comme un effet de la marée solaire; car, s'il en était ainsi, l'effet de la Lune serait beaucoup plus considérable. Or l'observation du baromètre montre que la marée lunaire atmosphérique est nulle ou peu s'en faut. La variation solaire diurne du baromètre est donc nécessairement un effet de la température.

D'un autre côté, en appliquant l'analyse de Fourier aux variations diurnes de la température, on trouve que pour la plupart des stations, sinon pour toutes, le terme diurne est beaucoup plus important que le terme semi-diurne. Il n'en est que plus remarquable que l'oscillation barométrique, qui en est la conséquence, soit principalement une oscillation semi-diurne.

Il est probable que l'explication de ce fait doit être cherchée dans la valeur de l'oscillation propre de la masse atmosphérique et qu'on la trouvera dans les formules mêmes que Laplace a données dans la *Mécanique céleste* pour l'Océan, mais qu'il a montrées s'appliquer aussi à l'atmosphère.

En substituant dans ces formules l'influence thermique aux actions attractives pour la production des marées et en cherchant les modes d'oscillation qui correspondent respectivement aux termes diurnes et semi-diurnes de l'influence thermique, on trouvera probablement que la période d'oscillation propre dans le premier cas s'accorde beaucoup moins bien avec une durée de vingt-quatre heures que la seconde avec une durée de douze heures; il est tout naturel alors que, dans le second cas, une force comparativement moindre puisse produire un effet beaucoup plus considérable.

L'examen du Tableau montre que, à une exception près, celle de Sitka, station de l'hémisphère nord, pour laquelle R_2 est très petit, les valeurs de C_2 sont toutes positives et correspondent à des angles aigus; on trouve $61°3'$ pour moyenne des 30 nombres

Digitized by Google

du Tableau. Si l'on attribuait à chacune des valeurs de C_2 un poids en rapport avec la valeur de R_2 correspondante, on trouverait un nombre encore plus grand pour la valeur moyenne de C_2. Mais il suffit, pour notre but actuel, d'admettre que cette moyenne est d'au moins 60°. En se reportant à la formule, on en déduira cette conséquence, que le maximum du terme semi-diurne tombe un peu avant 10^h du matin et un peu avant 10^h du soir; pour $C_1 = 60°$, ce serait exactement 10^h.

Les observations, et aussi la théorie, sont encore trop incomplètes pour qu'on en puisse déduire la loi de variation de R_2 en fonction de la latitude. Les observations contenues dans le Tableau montrent néanmoins, comme du reste pouvait le faire pressentir la théorie des marées de Laplace, que dans les régions polaires la diminution est plus rapide que ne le comporterait la loi du carré du cosinus de la latitude λ. Il est d'ailleurs facile de reconnaître, à l'inspection du Tableau, que la formule $R_2 = \cos^2\lambda . 0^{po},032$ suffit à représenter, dans une première approximation, la distribution des excès barométriques à la surface du globe, c'est-à-dire l'épaisseur en chaque point de la couche sphéroïdale elliptique qui donnerait lieu au même couple résistant que la marée atmosphérique. En laissant de côté les mesures anglaises, qui sont véritablement intolérables, nous écrirons cette formule

$$R_2 = 0^{cm},08 \cos^2 \lambda.$$

Maintenant, la colonne barométrique correspond toujours au poids de la masse d'air qui existe au-dessus du point considéré, indépendamment de la température, et l'on peut ajouter aussi, quand on ne considère que des moyennes relatives à plusieurs stations, indépendamment du vent (¹).

(¹) Par les vents très forts le baromètre peut rester sensiblement au-dessus ou au-dessous de la valeur qui correspond au poids de la masse d'air, suivant que la pièce où il est placé a ses fenêtres tournées vers le vent ou à l'opposé. L'erreur provenant de cette cause peut se manifester dans les moyennes diurnes d'un baromètre donné, par suite des variations périodiques diurnes de la direction du vent; mais elle doit être très peu de chose pour un baromètre placé dans des conditions convenables, et, dans tous les cas, elle doit disparaître quand on prend la moyenne de plusieurs instruments placés arbitrairement dans des édifices différents et en diverses parties du globe. On peut remarquer, en passant, que dans un observatoire

Digitized by Google

Pour chaque centimètre en plus ou en moins dans la colonne mercurielle, il y a $13^{gr},596$ ou, en nombre rond, 14^{gr} d'air en plus ou en moins au-dessus de chaque centimètre carré de la surface horizontale. La *fig.* 2, dans laquelle la ligne SA fait un angle de 30° avec la ligne HH′ (ce qui correspond à $C_2 = 60$), représente la distribution des pressions et par conséquent le poids de la masse d'air au-dessus de chaque point d'un parallèle quelconque ou tout au moins d'un parallèle distant de l'équateur de moins de 60° dans l'un ou l'autre hémisphère. Si l'on suppose qu'on ait pris en chaque point l'épaisseur égale au produit de $\cos^2\lambda$ par $0^{cm},08$, la couche ombrée représente la couche de mercure qui, répandue à la surface de la Terre donnerait lieu, par suite de l'attraction solaire, au même couple résultant que l'atmosphère. Pour évaluer ce couple, nous emploierons la formule connue (Thomson et Tait, *Natural Philosophy*, Vol. I, Part I, § 539) relative à l'attraction mutuelle d'une masse M non concentrée en un point, et d'une masse m placée en un point situé à une grande distance

$$(1) \qquad L = 3m\frac{(B-C)yz}{(x^2+y^2+z^2)^{\frac{5}{2}}},$$

formule dans laquelle x, y, z sont les coordonnées de la masse m par rapport à trois axes rectangulaires OX, OY, OZ coïncidant avec les axes principaux d'inertie de la masse M; B et C les moments d'inertie de cette masse M par rapport aux axes OY et OZ, et enfin L le moment par rapport à l'axe OX du couple qu'on obtient en transportant parallèlement à elle-même chacune des actions élémentaires, exercées sur la masse M, au centre d'inertie de cette masse. Supposons que le corps M soit un ellipsoïde homogène ayant a, b et c pour demi-axes; on a

$$B - C = \frac{1}{5}M(c^2 - b^2) = \frac{1}{5}m(c+b)(c-b).$$

Pour un ellipsoïde allongé, ayant les dimensions indiquées ci-

météorologique, le choix de la pièce où est placé le baromètre ne doit pas être absolument arbitraire. Les ouvertures de la pièce sur l'extérieur doivent être disposées symétriquement par rapport aux différentes directions et aussi par rapport à l'abri contre le vent qui est produit par les autres parties du bâtiment.

Digitized by Google

dessus, on a

$$B - C = \frac{1}{5} Mr . 0,32, \tag{2}$$

r étant le rayon de la Terre en centimètres.

Dans le cas de la *fig.* 2, nous aurons

$$yz = D^2 \sin 30^\circ \cos 30^\circ,$$

D étant la distance du Soleil à la Terre. On a, par suite,

$$L = \frac{3}{5} \frac{m M r . 0,32 . \sin 30^\circ \cos 30^\circ}{D^3}. \tag{3}$$

Dans cette formule, M représente la masse d'un volume de mercure égal au volume de la Terre; de sorte que, si E est la masse de la Terre, $M = 2,5 E$. Maintenant $\frac{ME}{D^2}$ est l'action attractive du Soleil sur la Terre; si on la représente par F, on aura

$$L = \frac{3}{5} 2,5 . \frac{r}{D} F . 0^{cm},32 . \sin 30^\circ . \cos 30^\circ = \frac{r}{D} F . 0^{cm},21. \tag{4}$$

Si S est la masse du Soleil en grammes, on a

$$F = \frac{r^2}{D^2} S . 980 \text{ dynes},$$

puisque l'attraction de la Terre sur 1^{gr} de matière placé à sa surface est d'environ 980 dynes; il viendra donc enfin

$$L = \frac{r^2}{D^3} S . 980 . 0,21 = \frac{r^3}{D^3} S . 207. \tag{5}$$

En représentant par I le moment d'inertie de la Terre, on aura, entre l'accélération angulaire $\frac{d\omega}{dt}$ et le moment du couple L, la relation

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{L}{I}. \tag{6}$$

Si l'on admet la loi de Laplace pour la variation de la densité à partir de la surface, on a approximativement

$$I = \frac{1}{3} r^2 E,$$

Digitized by Google

au lieu de $I = \frac{2}{5} r^2 E$ qu'on obtiendrait dans le cas de l'homogénéité. On aura donc

$$\frac{d\omega}{dt} = 3 \frac{r^3}{D^3} \frac{S}{E} \frac{207}{r^2}.$$

On a d'ailleurs

$$\frac{D^3}{r^3} = 12{,}3.10^{12}; \quad \frac{S}{E} = 31{,}9.10^4; \quad r = 6{,}370.10^3 \text{ centimètres},$$

et, par suite,

$$r^2 = 40{,}6.10^{16}.$$

Il viendra donc

$$\frac{d\omega}{dt} = 3.\frac{31{,}9.10^4}{12{,}3.10^{12}}.\frac{207}{40{,}6.10^{16}} = 4.10^{-23}$$

pour l'accélération angulaire, c'est-à-dire l'accroissement de la vitesse angulaire pour chaque seconde. La vitesse angulaire de la Terre étant actuellement $\frac{2\pi}{86400}$ ou approximativement $\frac{1}{13700}$, l'accélération relative sera

$$\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} = 5{,}5.10^{-19},$$

Il y a $31{,}5.10^6$ secondes dans une année et 3150.10^6 secondes dans un siècle. Le rapport du gain total de vitesse pendant un siècle à la vitesse elle-même est donc

$$1{,}74.10^{-9}.$$

Pour interpréter ce résultat, considérons deux chronomètres A et B marchant pendant un siècle dans les conditions suivantes :

Le chronomètre A garde le temps d'une manière absolue ; il est réglé au commencement du siècle de manière à marquer le temps sidéral, puis abandonné à lui-même.

Le chronomètre B est réglé jour par jour et d'année en année, pendant tout le siècle, sur le temps sidéral.

A la fin du siècle, la vitesse de B dépasse celle de A de $1{,}7.10^{-9}$ seconde par seconde ; comme cet accroissement a été acquis uniformément, on peut dire que pendant le cours du siècle, la vitesse moyenne de B a dépassé celle de A de $0{,}8.10^{-9}$ seconde par seconde. Par suite, pendant le siècle, B a pris une avance totale de $3{,}15.10^9.0{,}8.10^{-9}$ ou $2{,}7$ secondes.

Digitized by Google

En fait, il se produisait en même temps et en sens inverse une différence neuf fois plus grande dans la marche des deux chronomètres.

En reprenant les calculs de Laplace sur l'accélération du moyen mouvement de la Lune produite par l'attraction du Soleil, Adams est arrivé à ce résultat, que notre chronomètre B, réglé chaque jour sur le temps sidéral, retarderait au bout d'un siècle de 22 secondes sur le chronomètre A (*voir* Thomson et Tait, *Natural Philosophy*, 1re édition, Vol. I, § 830 ou 2e édition, Vol. I, Ire Partie, § 405). Ce fait, qui peut être considéré comme démontré approximativement par la théorie et par l'observation, a reçu de Delaunay une interprétation dont il ne paraît pas possible de mettre en doute l'exactitude : il est une conséquence du frottement de la marée.

Il suffit de changer convenablement les données pour que les formules précédentes nous donnent ce retard dû à la marée, comme elles nous ont donné l'accélération thermodynamique. Revenons à la *fig.* 1; supposons que la couche sphéroïdale représente non plus l'atmosphère comme dans la *fig.* 2, mais la masse des eaux ; si nous prenons égal à 1^{m} l'excès du plus grand rayon sur le petit, la figure représentera d'une manière assez exacte, pour toute la surface de la Terre, la forme générale des eaux, telle qu'elle résulte de la marée. Si dans ces deux cas l'obliquité était la même, et que le Soleil restât toujours la masse attirante, nous trouverions une valeur de L

$$\frac{50}{0,08 \times 13,596} = 45,9$$

fois plus grande que plus haut; si, tout restant le même, on substituait la Lune au Soleil, la valeur de L deviendrait 91,8 fois plus grande (en effet, la masse de la Lune, divisée par le cube de sa distance à la Terre, est le double de la masse du Soleil divisée par le cube de sa distance). Pour mettre d'accord le résultat d'Adams et l'explication de Delaunay, il faut que, dans le second cas, le moment du couple soit seulement dix fois ce qu'il est dans le premier. Il suffit pour cela d'incliner la ligne HH′ sur la ligne AM d'un angle HCM, tel que

$$\sin \mathrm{HCM}.\cos \mathrm{HCM} = \frac{\sin 30^\circ \cos 30^\circ}{10}.$$

Digitized by Google

On trouve ainsi, pour HCM, 87°30′. C'est avec cet angle qu'a été construite la *fig.* 1..

Ainsi, en partant, d'un côté, des résultats fournis par l'observation sur la forme de l'atmosphère terrestre, d'un autre côté, des évaluations que nous avons faites sur la valeur moyenne de la marée lunaire, nous arrivons à ce résultat que, dans le cours d'un siècle, le chronomètre B prend, par rapport au chronomètre A, une avance de 2,7 secondes en vertu de l'accélération thermodynamique, et un retard de 25 secondes par suite du ralentissement dû à la marée. Le résultat final est un retard de 22,3 secondes ou tout simplement 22 secondes, c'est-à-dire le résultat trouvé par Adams.

Sur les ondes produites par les étincelles électriques;

par M. E. Mach, Professeur à l'Université de Prague.

1. Je me suis occupé, il y a plusieurs années, d'étudier la propagation des ondes sonores excitées par l'étincelle électrique par la méthode de MM. Abria et Kundt, c'est-à-dire au moyen des figures données par la poudre de lycopode. J'ai pu montrer ainsi que les lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière ne s'appliquent pas sans modification aux phénomènes du son. La différence tient à ce que la longueur de l'onde sonore n'est plus négligeable par rapport aux dimensions des surfaces réfléchissantes.

L'influence des dimensions de la surface a été établie par Fresnel; le fait même n'était pas inconnu de Newton; cependant il n'était pas inutile, je crois, d'en apporter une nouvelle vérification expérimentale. Ces recherches, en montrant de quelle manière la réfraction intervient dans les phénomènes de réflexion et de réfraction du son, sont de nature à jeter quelque lumière sur la question de la limite de la puissance des microscopes, question qui a été traitée, comme on sait, au point de vue théorique, par M. Abbe et plus tard par M. Helmholtz.

2. J'avais terminé mes recherches avec la poudre de lycopode, quand une publication de M. Antolik me fit connaître un procédé

Digitized by Google

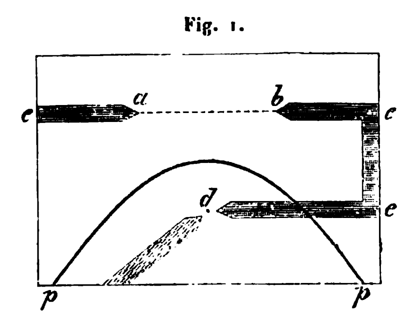
beaucoup plus sensible, qui devait me permettre d'aller plus loin que je n'avais pu faire jusque-là.

M. Antolik avait remarqué que l'étincelle électrique laissait des traces sur une plaque enduite de noir de fumée placée dans son voisinage. Il considérait bien ces traces comme engendrées par quelque action mécanique de l'électricité sur l'air, mais il ne soupçonnait pas qu'il avait simplement sous les yeux l'effet des ondes sonores excitées dans l'air au voisinage de la plaque. Le fait observé par M. Antolik avait du reste été remarqué antérieurement par M. de Waha et par M. Tœpler, et même beaucoup plus anciennement par Van Marum. Mais aucun de ces physiciens n'avait songé à le rapporter aux ondes sonores

Je n'ai donc aucune prétention sur le procédé de M. Antolik, que je n'ai fait qu'appliquer à mes études. Pour moi, la plupart des figures publiées par M. Antolik s'expliquaient par les ondes sonores; j'avoue cependant qu'elles présentaient des particularités dont l'explication soulevait de très grandes difficultés.

En s'en tenant aux traits généraux des figures, il n'y avait aucun doute que celles-ci étaient dues à des ondes sonores, car on pouvait les reproduire par des explosions de toute autre nature que l'étincelle électrique : par exemple, par l'inflammation d'une poudre explosive, disposée en traînées représentant le trajet de l'étincelle, ou encore par de simples chocs mécaniques.

Fig. 1.



Dans toutes les figures, les lois de l'Acoustique se révèlent avec une netteté parfaite. Si, par exemple, on fait éclater à la fois deux étincelles, l'une ab rectiligne (*fig.* 1), (pour l'obtenir, il suffit de déposer sur la lame de verre, entre les deux électrodes a et b, une légère trace métallisée) et une autre très courte en c, d, et qu'on

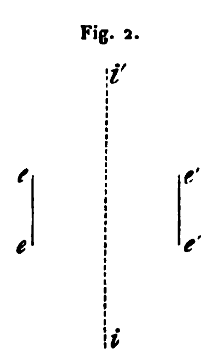
Digitized by Google

place à quelques millimètres au-dessus de la première lame de verre que porte les électrodes une seconde lame recouverte de noir de fumée, les deux ondes simultanées, l'une linéaire, l'autre circulaire, donnent comme ligne d'interférence une parabole ayant le point *d* pour foyer et la ligne *ab* comme directrice. De même, deux étincelles de directions perpendiculaires, et éclatant dans des plans différents, donnent par l'intersection de leurs ondes un paraboloïde hyperbolique dont la lame noircie permet d'obtenir les sections planes. Il est inutile de multiplier davantage ces exemples : on peut mettre ainsi en évidence tous les effets de réflexion, de réfraction et de diffraction.

3. Pour prouver l'identité des ondes sonores et des mouvements qui s'impriment sur les plaques, j'ai déterminé la vitesse de propagation de ces mouvements en les recevant sur une toupie noircie, munie d'un diapason à compensateur optique, qui servait à déterminer la vitesse de rotation.

La vitesse de propagation des ondes d'étincelles est en général plus grande que celle des ondes sonores ordinaires; mais elle va en

Fig. 2.



diminuant progressivement pour atteindre finalement une limite inférieure, qui est précisément la vitesse normale du son. Ce fait est dû à la grandeur des condensations et des dilatations de ces ondes et est en accord parfait avec les résultats de l'analyse de Poisson, Stokes, Earnshaw, Riemann, etc.

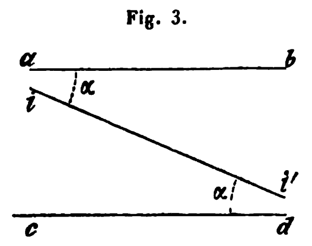
Une fois connue la vitesse de propagation d'une onde explosive, on peut s'en servir pour mesurer le temps qui s'écoule entre la production de deux étincelles successives. Si, par exemple, on con-

Digitized by Google

sidère deux étincelles *ee* et *e′e′* parallèles entre elles (*fig.* 2) et que ces deux étincelles soient simultanées, la ligne d'interférence sera évidemment la ligne symétrique *ii′*; mais, s'il s'écoule un temps très court entre la production des deux étincelles, le retard sera mesuré par ce déplacement de la ligne *ii′*. L'application de ce principe m'a permis de faire un certain nombre de déterminations qui ne manquent pas d'intérêt.

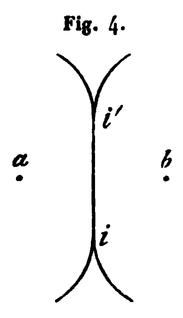
Si, par exemple, les deux droites parallèles *ab* et *cd* (*fig.* 3)

Fig. 3.



représentent deux traînées d'argent fulminant, et qu'on en détermine simultanément l'explosion au moyen d'étincelles en deux points opposés *b* et *c*, on trouve que la ligne d'interférence coïncide avec la diagonale *ii′*; l'angle α d'inclinaison de cette ligne permet de déterminer la vitesse d'inflammation, qu'on trouve égale à 2000^{m} par seconde dans l'expérience actuelle.

Fig. 4.



4. Les ondes d'étincelles présentent un grand nombre de particularités curieuses dont j'ai eu d'abord beaucoup de peine à me rendre compte et qui, précisément pour cette raison, m'attiraient avec un charme singulier et ont été pour moi l'objet de nombreuses recherches.

La ligne d'interférence de deux étincelles très courtes et simul-

Digitized by Google

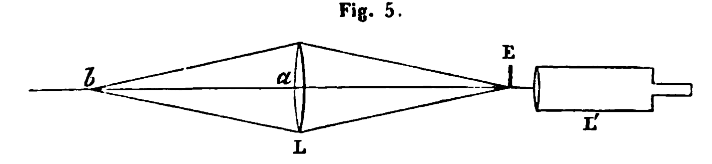
tanées a et b est évidemment l'axe de symétrie de deux points a et b; cette ligne est simple dans une partie de sa longueur, mais ensuite elle se bifurque comme l'indique la *fig.* 4. L'explication que j'en donne est la suivante : à l'endroit où se coupent les deux ondes émanées de a et de b, il y a une condensation et une amplitude plus grande; la vitesse de propagation étant une fonction de l'intensité, celle-ci s'accélère et les choses se passent comme s'il se formait une troisième onde devançant les deux autres et capable d'interférer avec elles. Nous appellerons cette onde l'*onde secondaire;* elle a quelque analogie avec les ondes qui, en Acoustique, donnent les sons de combinaison. La condition pour que l'onde secondaire puisse devancer les ondes primaires est donnée par la relation

$$\omega > \frac{v}{\cos\frac{\alpha}{2}},$$

dans laquelle ω est la vitesse de l'onde secondaire, v celle de l'onde primaire et α l'angle des normales aux surfaces des ondes primaires.

5. Pour ne laisser aucun doute sur cette question fondamentale des ondes secondaires, j'ai cherché à en vérifier l'existence par un procédé optique. Je me suis d'abord servi du *Schlierenapparat* de M. Tœpler (*fig.* 5). Au devant d'une lunette achromatique L,

Fig. 5.



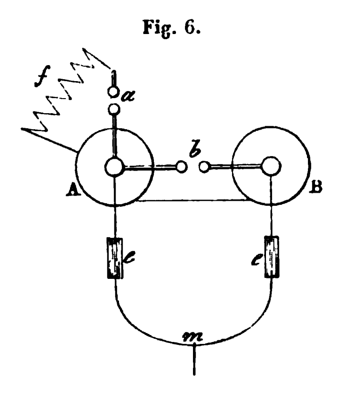
en b, on fait éclater une étincelle qui produit une onde aérienne. Au milieu de cette onde, en a par exemple, et 0,00007 de seconde après la première, on en fait passer une seconde. La lentille L donne une image réelle de cette dernière qu'on intercepte exactement par le bord d'un écran E placé au devant d'une petite lunette L' dont l'axe coïncide avec celui de la lentille L. Si l'on fait partir seulement l'étincelle a, on n'aperçoit rien dans la lunette, mais, si l'étincelle a éclate un temps très court après l'étincelle b, l'onde

Digitized by Google

de *b* change l'indice de réfraction de l'air, les rayons ne sont plus exactement interceptés par l'écran, une partie de l'onde lumineuse déborde et pénètre dans la lunette; celle-ci donne, sous forme de cercles, une image brillante de l'onde aérienne dans le plan focal. Les modifications que j'ai apportées à la méthode de M. Tœpler avaient pour objet : 1° d'établir une différence constante et très petite entre les instants des deux étincelles; 2° de remplacer l'étincelle unique *b* par deux étincelles linéaires, très minces, d'assez grande longueur, parallèles entre elles et à l'axe de la lunette L'. J'indiquerai seulement la disposition employée pour réaliser la première condition.

Deux grandes bouteilles de Leyde A et B (*fig.* 6) communiquent

Fig. 6.



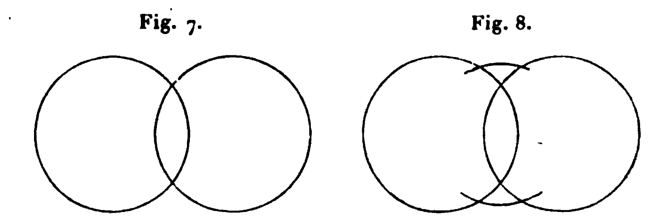
entre elles par leurs armatures extérieures. On les charge simultanément au moyen d'un fil bifurqué *m*; sur les deux branches sont interposées des résistances *e* formées par des colonnes d'eau. Des tiges à boule *b* partent des armatures intérieures et sont, en *b*, voisines l'une de l'autre. Deux autres tiges, attachées aux armatures de la bouteille A, permettent la décharge de cette bouteille par une étincelle qui part en *a*. Immédiatement après, la bouteille B se décharge elle-même sur la bouteille A, en produisant en *b* une étincelle. Cette décharge est provoquée par les oscillations de la première, et se produit exactement à la fin de la première demi-oscillation. La durée de cette oscillation et, par suite, l'intervalle des deux étincelles dépendent de la capacité des bouteilles et de la résistance du circuit qui traverse la décharge; ce circuit était constitué par un fil isolé d'environ 5^{km} de longueur : l'intervalle qui s'écou-

Digitized by Google

lait entre les deux étincelles était de 0,00005 de seconde. Cette durée de la première oscillation est constante pour un dispositif donné, comme cela résulte de l'analyse de Kirchhoff et des expériences de Feddersen; les ondes qu'on observait dans les expériences avaient un rayon constant de 14^{mm}.

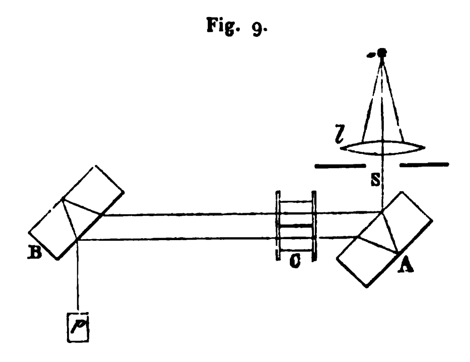
Quand, au lieu d'une seule étincelle, on en produit deux, parallèles entre elles et à l'axe de la lunette L', on observe deux cercles brillants de même rayon qui se coupent simplement comme dans la *fig.* 7, si les étincelles sont faibles, mais qui présentent l'aspect de la *fig.* 8 quand les étincelles sont fortes. On rend ainsi visible directement l'effet de l'onde secondaire.

Fig. 7. Fig. 8.



Pour évaluer la grandeur des effets de condensation qui accompagnent les ondes d'étincelles, j'ai eu recours à la méthode d'interférence d'Arago et de Fresnel, sous la forme que lui a donnée M. Jamin. A et B sont les glaces de l'appareil (*fig.* 9). Très près de

Fig. 9.



la première on a placé une fente *s* et une lentille *l*; un peu au delà du foyer de celle-ci, on produit une étincelle *e*. C'est la source de lumière instantanée que l'on emploie. Une petite cuve *c* de $0^{m},20$ de longueur, partagée par une cloison en deux compartiments, se

Digitized by Google

trouve aussi très près de A, et le faisceau réfléchi par cette glace se partage entre les deux compartiments. L'un communique librement avec l'air; dans l'autre se trouvent deux tiges à boules entre lesquelles on peut faire jaillir une étincelle parallèle à la longueur de la cuve et qui produit une onde aérienne. La condensation qui en résulte déforme les franges d'interférence. On observe celles-ci avec un prisme à vision directe, réglé pour donner le spectre de la fente *s*. Les franges présentent, au moment de l'explosion, la forme de la *fig.* 10. Le déplacement dû à la condensation était environ

Fig. 10.

Violet

Rouge

d'une frange et demie pour une étincelle faible. On en déduit facilement que la condensation atteignait 0,15 d'atmosphère.

Les expériences de Tœpler et de Boltzmann donnent 0,0037 d'atmosphère pour la condensation d'une colonne d'air vibrante dans un tuyau sonore à l'endroit du nœud; on voit que la condensation produite dans les ondes excitées, même par une étincelle faible, l'emporte de beaucoup sur celle qu'on observe dans les ondes sonores ordinaires.

6. Riemann, dans son Mémoire *Sur les ondes sonores planes à déplacement fini,* dit en passant qu'il ne serait guère possible de vérifier expérimentalement les résultats analytiques qu'il obtient. Je crois au contraire que, sur beaucoup de points, l'expérience a devancé la théorie et qu'il serait difficile de retrouver par l'analyse tous les résultats observés.

J'ai l'intention, lorsque ces recherches seront devenues encore plus complètes, de les résumer dans un Mémoire qui fournira aux physiciens de nombreuses applications de la méthode des ondes d'étincelles à l'éclaircissement de quelques points délicats de l'A-

Digitized by Google

coustique, et aux mathématiciens le point de départ de recherches géométriques qui pourront n'être pas dénuées d'intérêt.

Je terminerai cette Note par la liste des Mémoires dont elle est le résumé.

E. Mach und Wosyka, *Ueber einige mechanische Wirkungen des elektrischen Funkens* (*Wiener Ac.*, Bd. 72; 1875).

Rosicky, *Ueber mechanische-akustische Wirkungen des elektrischen Funkens* (*id.*, Bd. 73).

E. Mach und J. Sommer, *Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Explosionsschallwellen* (*id.*, Bd. 75; 1877).

E. Mach, O. Tumlirz und C. Kögler, *Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Funkenwellen* (*id.*, Bd. 77; 1878).

E. Mach, *Ueber Verlauf der Funkenwellen in der Ebene und im Raume* (*id.*, Bd. 77).

E. Mach und G. Gruss, *Optische Untersuchungen der Funkenwellen* (*id.*, Bd. 78; 1878).

E. Mach und Weltrubsky, *Ueber die Formen der Funkenwellen* (*id.*, Bd. 78).

E. Mach und Simonides, *Weitere Untersuchung der Funkenwellen* (*id.*, Bd. 79; 1875).

Sur le passage des projectiles à travers les milieux résistants, sur l'écoulement des solides et sur la résistance de l'air au mouvement des projectiles; par M. Melsens.

Dans trois Notes que l'Académie m'a fait l'honneur d'accueillir avec bienveillance, j'ai montré expérimentalement qu'un projectile sphérique, marchant dans l'air, est précédé d'une quantité considérable de ce fluide, que l'on peut recueillir, en totalité ou en partie, et séparer ainsi de l'air qui suit le projectile ou se trouve sur ses bords ([1]). J'ai attribué à cet air des effets spéciaux, dus à sa condensation à la partie antérieure de la balle. En effet, quand

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, septembre 1867, novembre 1869 et avril 1872.

Digitized by Google

on considère un projectile qui a fait un assez long trajet dans l'air et qui frappe un obstacle solide en y pénétrant, on voit, en analysant les phénomènes mécaniques qui se passent, que ce projectile exerce trois actions très différentes, se succédant dans un intervalle de temps très court : 1° action due à son poids, à sa forme et à sa vitesse; 2° action due à l'élasticité du gaz, dont le volume augmente subitement, au moment de l'arrêt par un obstacle solide; 3° action du solide qui se déforme ou se brise, sans changement sensible de volume, et frappe les obstacles solides déjà entamés, sans doute, par l'action du *projectile-air*, l'air étant considéré comme partie intégrante du projectile.

Tandis que la force vive, ou le travail d'un marteau ordinaire ou d'un marteau-pilon (tombant d'une hauteur donnée, toujours peu considérable, et animé d'une vitesse en général très faible comparativement à celle des projectiles), peut se mesurer assez exactement en fonction de sa masse, de sa hauteur de chute et de sa poussée dans quelques cas, sans qu'il y ait lieu de se préoccuper de l'air qui l'accompagne, les conditions changent lorsqu'il s'agit du *projectile-air*, dans le cas du tir. En effet, sa masse, son volume ou sa densité, ainsi que sa forme nous échappent, comme aussi les actions résultant de l'élasticité du fluide.

Il résulte des expériences que l'air accumulé, en avant du projectile, y forme une couche capable, dans les cas de grandes vitesses, de s'opposer au contact *immédiat*, *absolu*, entre les deux solides et, particulièrement, au point où la trajectoire rencontre le solide frappé, c'est-à-dire au point d'*impact*, l'incidence étant sensiblement normale; c'est ce que j'ai prouvé depuis longtemps par une série de tirs nombreux. J'ose affirmer, de nouveau, qu'une balle sphérique marchant à grande vitesse ne touche jamais *immédiatement* l'obstacle au point mathématique de l'impact, soit qu'elle s'y enfonce, soit qu'elle les brise, l'observation, bien entendu, se faisant au moment du choc.

Mes tirs ont lieu dans un bloc de fonte percé dans la masse d'un cône creux, vers le fond duquel se trouve un cylindre en acier, creusé de façon à former le prolongement du premier cône; il est terminé à son sommet par une ouverture de $0^m,003$ à $0^m,005$ de diamètre. Une balle (de $0^m,017$ de diamètre), qui serait comprimée dans ce cône par une forte pression, épouserait la forme du

Digitized by Google

cône creux dans sa partie rétrécie et sortirait, partiellement, par l'ouverture, en présentant un cylindre de la forme de l'ouverture, ou ayant sensiblement son diamètre.

Le bloc est en communication avec un dispositif destiné à recueillir l'air qui précède le projectile; il consiste en un canon de fusil, vissé dans le gros bloc et rattaché à un réservoir d'eau, contenant une cloche destinée à recueillir l'air. Le canon, le réservoir et la cloche ont été préalablement remplis d'eau.

Une partie du plomb de la balle passe par l'ouverture et se rend avec l'air dans le canon, où l'on retrouve des fragments de plomb détachés de la balle, la portion principale restant fixée dans le cône et faisant fonction d'obturateur. La force vive due à la vitesse de la balle opérait donc comme la pression dans les expériences que M. Tresca réalise à l'aide de la presse hydraulique ou du balancier. L'écoulement de la balle, ainsi que celui de l'air, se faisaient par l'orifice.

Pour empêcher l'écoulement de l'eau avant le tir, on plaçait une calotte sphérique de laiton très mince, du diamètre de la balle, dans la partie rétrécie du cône, ou tout autre obstacle très léger, du papier, de la graisse, un peu d'argile, etc.

L'appareil, solidement fixé, recevait la balle, dont une portion s'écoulait par l'ouverture. Les fragments détachés rappellent, par leur forme, d'une manière frappante, les figures classiques des veines fluides, s'écoulant par des orifices en mince paroi. Pour les solides, il y a, sans doute, rupture aux rétrécissements et les gouttes se détachent, puisqu'on les retrouve, en général, isolées dans l'eau du canon de fusil avec quelques débris informes.

Quelques balles tirées dans le cône sont absolument pointues; d'autres montrent une goutte oblongue qui adhère encore.

Il me reste, à propos de ces tirs et de l'appareil présenté, un point important à signaler, à mon sens : c'est l'action mécanique que l'air, l'eau et le solide exercent quand on force l'air à se rendre dans le canon de fusil, fixé à l'extrémité du cône. On sait que, si on laisse de l'air entre la charge d'un fusil et la bourre, le fusil recule violemment et le canon peut même s'enfler ou crever; un tampon de neige ou de terre qui bouche l'extrémité du canon de fusil (je parle des anciennes fabrications) le fait presque toujours éclater.

Digitized by Google

Le canon d'un fusil éclate encore si l'on tire lorsque son extrémité libre plonge dans l'eau. On attribue ces ruptures à la rapidité avec laquelle le mouvement, provoqué par les gaz de la poudre, s'exerce sur les parois avant d'avoir déplacé l'obstacle qui s'oppose à la libre expansion des gaz.

Or, voici ce qui m'est arrivé en lançant des balles dans le cône solidaire du canon du fusil qui a servi dans quelques-unes de mes expériences. Ce canon en fer, de première qualité, de 1^m de longueur, a d'abord été crevé à $0^m,46$ de la culasse; la fente, très large du reste, s'étendait sur une longueur de $0^m,07$. On fit scier le bout détérioré, ce qui réduisit la longueur du canon à $0^m,42$; l'épaisseur variable de ce tronçon était de $0^m,003$, au minimum. Un nouveau tir détermina une fente étroite, ayant $0^m,11$ de longueur; mais de ce côté, se rapprochant de la culasse, l'épaisseur minimum des parois était de $0^m,006$.

Enfin, ayant laissé un bout libre de 0,085, celui-ci fut crevé en présentant une large fente sur toute sa longueur, et, sur une portion de la partie filetée et vissée dans le bloc de fonte, la résistance fut assez forte pour fendre celui-ci sur toute sa longueur. Or, ce bloc, à section presque carrée, n'avait pas moins de $0^m,07$ de côté; la paroi, fendue dans toute sa longueur, avait une épaisseur de $0^m,02$ sur une longueur de $0^m,05$, $0^m,015$ sur une longueur de $0^m,04$, et se terminait en un cône ouvert, allant en s'amincissant sur $0^m,05$ environ. Bien plus, le cône intérieur mobile, souvent en acier de faible trempe, a été fendu de même, ainsi que le tube recourbé à angle droit qui se rend sous la cloche destinée à recueillir l'air; celui-ci, d'abord en verre épais, a été remplacé, à différentes reprises, par des cloches de verre consolidées par des garnitures en métal, puis enfin par des cloches de métal; les cloches de verre, garnies ou non, étaient souvent brisées, et l'expérience perdue.

Je fais usage de simples tubes en caoutchouc pour relier le canon de fusil au tube recourbé à angle droit qui se rend dans le vase servant de cuve à eau, et sous la cloche destinée à recueillir l'air; on comprend qu'il faut fixer celle-ci solidement pour l'empêcher d'être projetée.

Les données expérimentales de cette Note, au sujet de l'air qui accompagne les projectiles, me paraissent avoir une importance

Digitized by Google

réelle, lorsqu'il s'agit de déterminer la résistance de l'air pour des projectiles de formes diverses, animés de vitesses différentes, et pour le même projectile, suivant les points de la trajectoire où l'on prend cette vitesse.

D'après mes expériences, la résistance de l'air comporte des facteurs dont l'artillerie n'a pas assez tenu compte. Cette résistance me paraît variable sur toute la durée de la trajectoire, en vertu :

1° De la masse du projectile;

2° De la forme de la masse d'air adhérente;

3° De la vitesse;

4° De la poussée des gaz de la poudre, en arrière, jusqu'à une certaine distance de la bouche à feu;

5° Enfin, à partir de l'instant très court où le projectile est également pressé dans tous les sens par l'air, c'est-à-dire lorsque la compression en avant et le vide en arrière ont cessé.

On sait qu'un projectile sphérique, dans son mouvement de descente dans l'air, acquiert, par son poids, une vitesse croissante, tendant, en vertu de la résistance de l'air, à devenir uniforme. Pour la balle de plomb du diamètre de $0^{m},0167$ et du poids de $0^{kg},027$ dont je fais usage, la vitesse maximum n'est que de 62^{m} par seconde, tandis que la bombe de $0^{m},32$ (dont le diamètre est $0^{m},3206$ et le poids 75^{kg}) peut acquérir une vitesse maximum de chute de $160^{m},5$ par seconde.

Il est incontestable que ces sphères, en tombant, sont précédées d'une *proue* d'air qui se meut avec elles.

SÉANCE DU 4 NOVEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. LATCHINOW, professeur à l'Institut du Corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie);

Digitized by Google

MM. Roger, ancien chef d'Institution, à Paris;
Sciama, ingénieur civil des Mines, à Paris;
Slouginof (Nicolas), privat-docent de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. Delaurier sur *une machine magnéto-tellurique pouvant se transformer en un moteur électro-tellurique* et de plusieurs Mémoires de M. le Dr E. Mach.

M. Cornu expose devant la Société ses recherches sur la vitesse que prennent dans le quartz, suivant l'axe, les rayons polarisés circulairement. Un rayon polarisé rectilignement se décompose en deux circulaires inverses, se propageant avec des vitesses différentes et donnant à la sortie du quartz un rayon polarisé rectilignement, mais dont le plan de polarisation a dévié. La moyenne des deux vitesses est égale à la vitesse du rayon ordinaire se propageant dans un plan perpendiculaire à l'axe. M. Cornu indique la forme qu'il faut dès lors admettre pour la surface de l'onde au point de tangence de ses deux nappes.

M. Cornu a étendu ses recherches au cas de la polarisation rotatoire magnétique, en étudiant le déplacement des franges produites par deux blocs de flint, d'égale épaisseur, dont l'un est soumis à l'action d'un électro-aimant et l'autre non. Il arrive aux mêmes conclusions.

M. Aymonnet décrit une nouvelle pile à un seul liquide. Le pôle négatif est formé par du fer et le pôle positif par du charbon de cornue ou du platine. Le liquide est un mélange d'acide chlorhydrique et d'acide azotique. Il se produit du sesquichlorure de fer et du bioxyde d'azote; ce gaz, passant avec de l'air sur du charbon humide, reproduit l'acide azotique. Dans une autre disposition, le liquide est un mélange d'acide chlorhydrique et de bichromate de potasse. Cette pile, d'après les expériences de M. Aymonnet, aurait une force électromotrice un peu supérieure à celle de la pile Bunsen.

M. le capitaine Renard présente un appareil, le *pneumodensimètre,* destiné à donner la densité des gaz plus légers que l'air. Il se compose d'un tube fixe et d'un tube mobile rentrant plus ou moins dans le premier à l'aide d'une crémaillère. Le gaz arrive à

Digitized by Google

la partie supérieure du tube fixe et s'échappe par la partie inférieure du tube mobile. Le tube fixe est fermé par une membrane élastique qui, en se relevant par suite de la force ascensionnelle du gaz, ferme le courant et fait fonctionner une sonnerie électrique; en relevant plus ou moins le tube mobile, on ramène la sonnerie au silence. La longueur totale du tube est proportionnelle à la force ascensionnelle, et donne la densité par un calcul très simple.

Sur une loi simple relative à la double réfraction circulaire naturelle ou magnétique (¹); par M. A. Cornu.

La propriété singulière que possèdent certains corps de faire tourner le plan de polarisation de la lumière, propriété qui paraissait ne devoir être expliquée que par une connaissance approfondie de la constitution moléculaire de ces corps, a été, par un trait de génie de Fresnel, ramenée, comme explication, aux phénomènes ordinaires de propagation des ondes.

L'explication de Fresnel est fondée en effet :

1° Sur une *équivalence cinématique :* une onde à vibration rectiligne équivaut à la superposition de deux ondes à vibrations circulaires de sens inverses se propageant avec la même vitesse;

2° Sur une *propriété physique* que Fresnel a découverte et vérifiée par expérience : dans les corps doués de pouvoir rotatoire comme le quartz, la vitesse de propagation des ondes à vibrations circulaires a deux valeurs différentes, suivant le sens de la description de la vibration : la vitesse la plus grande correspondant à la vibration circulaire de même nom que la rotation du quartz.

La théorie de Fresnel a été étendue immédiatement à l'explication du pouvoir rotatoire que le magnétisme développe dans les milieux transparents; l'adaptation était particulièrement naturelle après les beaux travaux d'Ampère sur l'identité des aimants et des solénoïdes. Cette extension a paru si naturelle, que la vérification

---

(¹) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCII.

Digitized by Google

expérimentale de la théorie de Fresnel appliquée aux phénomènes magnétiques n'a été, sinon faite, du moins publiée que dans ces derniers temps [1].

Les vitesses v', v'' des deux ondes circulaires inverses sont liées à l'arc α de rotation du plan de polarisation par la relation qu'on déduit de la théorie de Fresnel,

$$\alpha = \frac{\pi e}{\lambda}\left(\frac{V}{v'} - \frac{V}{v''}\right),$$

où λ est une longueur d'onde dans l'air de la radiation simple employée, V la vitesse de la lumière dans l'air, e l'épaisseur du milieu et π l'arc d'une demi-circonférence, égal à 3,14159.

J'ai été amené à rechercher une seconde relation entre ces vitesses, de manière à les déterminer toutes deux d'une manière complète; les faits observés peuvent se résumer sous la forme très simple que voici :

1° *Dans le quartz, la moyenne des vitesses de propagation suivant l'axe optique des ondes circulaires de sens inverses est sensiblement égale à la vitesse de l'onde ordinaire perpendiculairement à cet axe.*

2° *Dans le flint lourd de Faraday, la moyenne des vitesses de propagation des ondes circulaires de sens inverses séparées par l'action magnétique est sensiblement égale à la vitesse commune de ces ondes quand l'action magnétique est nulle.*

Expériences faites sur le quartz. — La propriété énoncée a été vérifiée sur toute l'étendue des radiations comprises entre le rouge et la limite des radiations ultra-violettes, c'est-à-dire depuis la raie n° 1 du cadmium ($\lambda = 643,7$) jusqu'aux raies n° 32 de l'aluminium ($\lambda = 185$). La méthode du prisme permet, en effet, de mesurer simultanément les trois vitesses en question : il suffit d'employer, fixés l'un au-dessus de l'autre, deux prismes de quartz ayant *exactement* leurs faces dans le même plan, l'un taillé suivant la coupe précédemment indiquée, le plan bissecteur de l'angle réfringent normal à l'axe optique, l'autre ayant l'arête parallèle à

(1) A. Righi, *Nuovo Cimento*, t. IV, 1878; H. Becquerel, *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 334.

Digitized by Google

cet axe. Ce double prisme, placé sur la plate-forme du goniomètre de Babinet, donne quatre images de la fente éclairée avec une lumière monochromatique; trois d'entre elles sont très voisines et parfaitement équidistantes, si les deux prismes ont *exactement* le même angle [1]. Celle du milieu est polarisée rectilignement, parallèlement à l'arête commune : c'est l'onde ordinaire. Les deux autres sont polarisées circulairement en sens inverses, comme dans l'expérience citée précédemment. La quatrième image représente l'onde extraordinaire.

L'observation micrométrique directe ne comporte qu'une approximation médiocre dans la région des radiations visibles, en raison de la faible distance angulaire des images; mais, dans la région ultra-violette, les mesures des clichés photographiques acquièrent une précision qui croît très vite avec la réfrangibilité, car la distance des images réfractées croît comme le pouvoir rotatoire, c'est-à-dire plus vite que l'inverse du carré de la longueur d'onde. De plus, l'influence relative d'une petite inégalité dans l'angle des deux prismes décroît rapidement avec la réfrangibilité : il en

---

(1) Il s'est présenté une particularité singulière qui m'a arrêté pendant quelques temps. Pour obtenir l'égalité parfaite des angles, j'avais fait tailler ensemble les deux blocs de quartz; malgré cette précaution les angles des deux prismes n'étaient pas parfaitement égaux. Je fis recommencer le travail des surfaces : la même différence et dans le même sens se présenta encore; je fis alors construire séparément deux nouveaux prismes par deux habiles opticiens, en recommandant le plus grand soin dans la taille des faces : la même anomalie se présenta avec les deux doubles prismes comme précédemment. J'en conclus que l'anomalie était inhérente à la nature même du quartz : je ne tardai pas à reconnaître que l'inégalité de la dilatation du quartz dans les diverses directions en était la cause. Un calcul très simple, fondé sur les coefficients donnés par M. Fizeau, me permit en effet de déterminer la température à laquelle l'angle réfringent variable devient égal à l'angle réfringent fixe et à reconnaître que cette température, voisine de 30°, était celle que devait prendre le quartz pendant le travail de la taille et du polissage. Il suffit en effet de tenir le prisme dans les mains pendant quelques minutes pour constater, par l'observation des images réfractées, que les deux angles réfringents deviennent égaux.

On annule l'erreur provenant de cette cause en fixant des lames de glace parallèles à l'aide d'une goutte d'un mélange d'essences de girofle et de canelle ayant le même indice que le rayon ordinaire. Pour l'observation des radiations ultraviolettes les lames de verre étaient remplacées par des lames de quartz et le mélange d'essences par la glycérine : l'indice est un peu plus faible qu'il ne faut pour obtenir la compensation exacte, mais l'observation fournit le moyen de calculer la correction.

Digitized by Google

résulte que la netteté des vérifications est d'autant plus grande que la longueur d'onde est plus courte, contrairement à ce qui a lieu pour les lois seulement approximatives, comme la loi de Biot, où les divergences s'aggravent avec la réfrangibilité des radiations observées.

L'insuffisance de précision que donne la méthode du double prisme avec les radiations visibles m'a conduit à compléter les mesures par la méthode des interférences. L'expérience consiste à faire interférer deux faisceaux traversant respectivement deux blocs *parfaitement égaux* de quartz ([1]), l'un dans le sens de l'axe optique, l'autre dans le sens perpendiculaire (biquartz à axes croisés). En polarisant la lumière blanche employée pour éclairer la fente lumineuse, de manière à ne laisser passer dans le second bloc que l'onde ordinaire, on observe deux systèmes latéraux de franges polarisées circulairement en sens inverses. A l'aide d'un compensateur spécial (qui n'est autre qu'un double d'Arago), on amène successivement la frange similaire de chaque système sous le réticule, et la moyenne des déplacements donne exactement la position de la frange centrale du système qu'on obtient en faisant passer les deux faisceaux simultanément à travers le même bloc. L'apparition de ce nouveau système de franges s'obtient par une légère translation transversale donnée au biquartz ([2]).

Expériences faites sur le flint lourd. — La loi relative au pouvoir rotatoire magnétique, en raison de la faible double réfraction développée et de l'opacité du flint lourd pour les radiations réfrangibles, n'a pu être établie que par la méthode des interférences. Les deux faisceaux passaient respectivement à travers deux blocs égaux de flint, l'un placé entre les deux armatures du gros électro-aimant de l'École Polytechnique, l'autre soustrait à l'action magnétique, soit par un éloignement suffisant, soit par l'insertion dans l'intérieur de l'une des armatures. La fente lumineuse était

---

([1]) On rencontre une anomalie analogue à celle qui a été signalée ci-dessus avec les prismes : on l'élimine de la même manière, en fixant sur chaque extrémité du double bloc une lame de crown bien parallèle avec une goutte d'un mélange d'essences ayant l'indice ordinaire du quartz.

([2]) Je tiens à remercier M. J. Duboscq et M. Léon Laurent pour le concours empressé qu'ils m'ont apporté dans ces expériences et l'habilité qu'ils ont déployée dans la taille et le polissage des appareils de quartz dont j'ai eu besoin.

Digitized by Google

éclairée avec de la lumière polarisée circulairement vers la gauche dans la moitié supérieure, vers la droite dans la moitié inférieure ([1]). On obtient ainsi deux systèmes de franges, exactement sur le prolongement l'un de l'autre, lorsque le courant est interrompu; mais les deux systèmes se séparent d'une quantité proportionnelle à l'intensité du champ magnétique lorsque le courant est fermé, et la moyenne de leurs positions reproduit leur position commune primitive. L'inversion du courant échange les déviations et double la précision des mesures. Malgré la petitesse des déviations, qui atteignent à peine $\pm \frac{1}{10}$ de frange, le caractère différentiel des mesures et la précision des pointés, qui dépasse parfois $\frac{1}{200}$ de frange, permettent d'affirmer l'égalité des variations de vitesse à moins de $\frac{1}{20}$ de leur valeur, approximation qui paraîtra déjà considérable, eu égard à l'ordre de grandeur du phénomène.

Énoncé plus général. — Bien que les expériences n'aient porté que sur deux substances particulières, comme ces deux substances réunissent, chacune dans leur genre, les conditions les plus favorables à la précision des mesures, je suis convaincu que les résultats obtenus doivent s'étendre à tous les corps similaires sur lesquels il serait plus difficile d'expérimenter.

L'analogie des deux lois obtenues dans des conditions si différentes semblerait même révéler une propriété optique générale de la matière pondérable relativement à la transformation des ondes lumineuses : en effet, ces deux lois sont susceptibles d'un énoncé commun indépendant des circonstances dans lesquelles elles ont été obtenues :

Le dédoublement d'une onde polarisée rectilignement en deux ondes polarisées circulairement en sens inverses s'effectue de manière que la moyenne des vitesses de propagation des ondes dédoublées soit égale à la vitesse de propagation de l'onde unique qui existe dans les conditions où les causes de ce dédoublement n'agissent pas.

([1]) A l'aide d'un prisme de Nicol et de deux lames *mica quart d'onde.* A cet effet, on coupe en deux la lame de mica à bords nets et bien rectangulaires et on les colle les deux morceaux sur la fente, bord à bord, après avoir tourné l'un d'eux d'un angle droit.


Digitized by Google

La généralité de cette conclusion est trop éloignée des faits observés pour qu'on puisse l'accepter autrement que comme une conjecture; aussi ne me serais-je pas hasardé à l'énoncer si je n'étais en possession de faits analogues, rendant fort probable l'existence de relations de cette forme, et que j'aurai prochainement l'honneur de communiquer à la Société.

Piles économiques à un seul liquide; par M. Aymonnet.

L'application des principes de la Thermochimie m'a conduit à deux formes nouvelles de piles qui paraissent être à la fois très économiques et très énergiques.

La première est à un seul liquide. Chaque élément a pour pôle négatif un cylindre ou une lame de fer ou de fonte, pour pôle positif un prisme ou un cylindre de charbon de cornue; le liquide est de l'eau régale étendue d'une fois et demie à deux fois son volume d'eau.

La réaction finale qui se passe dans l'intérieur de cette pile est la suivante :

$$2Fe + 3HCl + AzO^5HO = Fe^2Cl^3 + AzO^2 + 4HO.$$

Pour arriver à transformer à peu près entièrement la force vive résultant de cette réaction en électricité, il faut prendre certaines précautions qu'il serait trop long d'indiquer ici. Si l'on calcule la quantité de calories qui est produite dans cette réaction, et d'autre part celle qui correspond à la pile Bunsen, en admettant que dans cette dernière, l'acide azotique renfermé dans les parois du vase poreux est étendu d'eau au moment de sa réduction par l'hydrogène : on trouve 0,91 pour le rapport de la première à la seconde.

Si, d'un autre côté, on mesure les forces électromotrices maxima des deux piles, on trouve que leur rapport est 0,90. Pour déterminer la force électromotrice et la résistance de la pile à eau régale dont je viens de parler, je me suis servi d'un galvanomètre bien gradué, intercalé dans une dérivation; dans le circuit principal, j'interposais successivement des résistances de 1 et 2 ohms.

La pile prise pour terme de comparaison était une pile Daniell

Digitized by Google

bien montée dont les surfaces polaires étaient : pôle négatif, 35^{cc}; pôle positif, les deux faces, 207^{cc}; surface du cuivre tournée vers zinc, $103^{cc},5$. Les surfaces polaires de la pile à eau régale étaient : pôle positif, surface totale, 207^{cc}; face du charbon tournée vers le cylindre de fer, 69^{cc}; pôle négatif, au début, 35^{cc}; à la fin, 18^{cc}. Les surfaces indiquées plongeaient dans le liquide.

Les pôles de chaque pile étaient distants l'un de l'autre de $0^{m},01$. La résistance de l'élément Daniell était de $1^{ohm},61$.

Les forces électromotrices et les résistances de l'élément à eau régale sont données dans le tableau suivant, où l'on admet que la force électromotrice d'un daniell vaut $1^{volt},06$.

Temps écoulé depuis le montage.	R en ohms.	F. E.	
		en daniells.	en volts.
0^{h}	1,86	0,80	0,85
1	1,10	1,43	1,52
2	1,00	1,53	1,62
4	0,46	1,45	1,54
7	0,44	1,35	1,43
9	0,92	1,10	1,17

La quantité de liquide employée était de 1^{lit}.

Cette pile à eau régale est économique, non seulement parce qu'elle est à un seul liquide, parce que son pôle négatif est du fer, mais encore parce qu'elle donne naissance à du bioxyde d'azote qui, entraîné avec de l'air sur du coke humide, peut être régénéré en acide azotique.

La seconde pile économique à laquelle j'ai été conduit est encore une pile à un seul liquide, ayant pour pôle négatif du fer ou de la fonte, pour pôle positif du charbon ou du platine, et pour liquide une dissolution chlorhydrique de bichromate de potasse : $5^{lit},5$ d'acide chlorhydrique ordinaire pour $1^{kg},500$ de bichromate de potasse et 10^{lit} à 11^{lit} d'eau.

La réaction est la suivante :

$$2Fe + 7HCl + KO,2CrO^3 + Fe^2Cl^3 + KCl + Cr^2Cl^3 + 7HO.$$

Si cette réaction se produisait d'un seul coup dans la pile, on aurait certainement, comme le montre le calcul calorimétrique, en

Digitized by Google

admettant que toute la chaleur se transforme en électricité, une pile d'une force électromotrice bien supérieure à un bunsen ; mais il n'en est pas ainsi; les réactions sont multiples, et je n'ai pas encore complètement terminé leur étude.

La force électromotrice et la résistance d'un élément de cette pile contenant 900cc de liquide ont été déterminées comme celles d'un élément à eau régale.

La surface polaire positive était de 207cc, la face tournée vers le zinc étant d'une superficie de 69cc; la surface polaire négative était au début de 43cc et, à la fin, de 35cc.

Temps écoulé depuis le montage.	R en ohms.	F. E. en daniells.	F. E. en volts.
0h	0,374	1,44	1,52
1	0,487	1,61	1,71
2	0,600	1,74	1,84
4	0,622	1,73	1,83
6	0,650	1,81	1,91

Lorsque cette pile a été employée pour la production de la lumière, chacun de ses éléments devient propre à l'usage de la téléphonie et de la télégraphie.

Un de ces éléments télégraphiques peut remplacer au moins deux éléments Leclanché de même modèle.

Dans ces nouveaux éléments, le fer seul s'use, et cela seulement à l'instant où le courant est fermé.

Pendant que le circuit est ouvert, il se forme un composé chloré très peu stable, tandis que, sous l'action de l'air, le fer chloruré passe à l'état de sesquioxyde.

Lorsque j'aurai terminé l'analyse des divers produits de cette pile, je reviendrai sur ce sujet; en attendant, je puis dire que, à l'école de Grignon, un seul élément contenant 400cc de liquide remplace, depuis cinquante jours, quatre éléments Leclanché grand modèle.

Digitized by Google

Pneumodensimètre à indications électriques; par M. Ch. Renard, capitaine du Génie.

Peser les corps solides ou liquides est une opération que tout le monde peut exécuter avec une assez grande précision. La pesée des gaz, au contraire, exige des soins si minutieux et des appareils si compliqués, qu'elle ne s'exécute guère en dehors des laboratoires.

Je me suis proposé de mettre entre les mains de tous une balance pneumostatique permettant d'obtenir à $\frac{1}{1000}$ près en quelques instants le poids spécifique d'un gaz notablement plus léger que l'air.

Voici sur quels principes l'appareil est fondé.

Supposons un tube cylindrique vertical de hauteur h ouvert à sa partie inférieure, fermé à sa partie supérieure par un piston, et rempli d'un gaz plus léger que l'air. Si l'on appelle α le poids spécifique de l'air et α' celui du gaz, la résultante, par unité de surface, des pressions qui s'exercent sur les deux faces du piston sera dirigée de bas en haut, et aura pour valeur

$$p = (\alpha - \alpha')h,$$

et l'effort total exercé sur le piston de section S sera

$$P = S(\alpha - \alpha')h.$$

La quantité $\alpha - \alpha'$ est ce qu'on nomme en aérostatique la force ascensionnelle du gaz; si l'on prend le mètre comme unité de longueur et le kilogramme comme unité de poids, elle représente le poids que peut enlever 1^mc du fluide considéré. En la désignant par A, on a donc

$$P = AhS.$$

Supposons maintenant que le piston P soit absolument sans frottement et que nous puissions augmenter peu à peu la hauteur h, en faisant coulisser un deuxième tube dans le premier; le produit AhS augmentera peu à peu, et il arrivera un moment où il sera égal à P.

A ce moment, le piston P s'élèvera, et l'on pourra en être informé par la rupture ou l'établissement d'un contact électrique. Il

Digitized by Google

suffira alors de connaître la hauteur actuelle h, la section S et le poids P pour avoir la force ascensionnelle A au moment de l'expérience.

Pour avoir la force ascensionnelle à 0° et à la pression 760, il suffira d'appliquer la formule

$$A_0 = A \frac{760}{H}(1 + \delta t).$$

Suivant la précision de l'appareil employé, il pourra y avoir lieu d'introduire dans la formule les termes de corrections relatifs à la dilatation de l'échelle qui donne la hauteur h, et à l'état hygrométrique de l'air et du gaz de l'appareil.

L'appareil se compose :

1° D'un tube de cuivre t fixé à une planche verticale;

2° D'un deuxième tube t', plus petit, qui peut coulisser dans le premier et qu'on manœuvre à l'aide d'une crémaillère;

3° D'une membrane m, en métal très mince, striée circulairement comme les boîtes de baromètres anéroïdes.

La membrane m porte en son milieu une coupelle de platine renfermant une goutte de mercure.

Une pointe p' en platine, manœuvrée par la vis V, peut être élevée et abaissée et permet de régler la sensibilité de l'instrument. Cette pointe communique, par la pièce R qui est isolée et le fil f, avec l'un des pôles d'une pile. L'autre pôle communique avec le bâti. On intercale dans le circuit une sonnette électrique quelconque.

M. le capitaine Krebs a construit, pour cet usage, une sorte de sirène à timbre dont l'attaque très nette permet de déterminer avec une grande précision l'instant où la pointe p' vient toucher le mercure.

Le gaz dont on veut mesurer la force ascensionnelle est introduit par le robinet r. Le robinet à vis r' permet de laisser sortir complètement l'air.

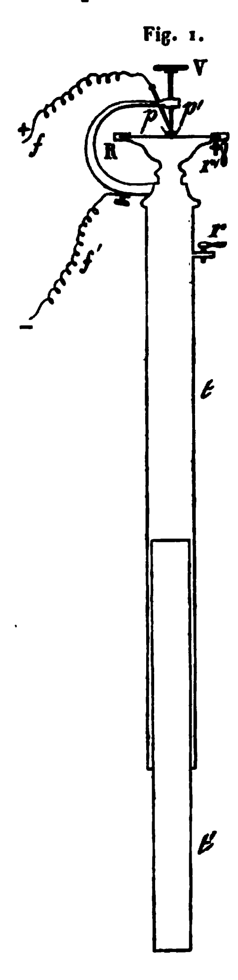
On donne à la colonne toute sa longueur, et, quand elle est bien remplie de gaz, on la raccourcit peu à peu jusqu'au moment où la sirène cesse de parler.

L'appareil porte deux graduations, l'une qui donne directement la valeur approchée A_1, et l'autre qui fait connaître la longueur de la colonne en millimètres.

Digitized by Google

Pour avoir une plus grande précision, on recommence plusieurs fois l'opération, en allongeant très lentement la colonne pour laisser au gaz le temps de la remplir, puis on la raccourcit.

Fig. 1.



En une minute, on peut effectuer une dizaine de déterminations.

Pour déterminer la constante $\frac{P}{S}$, on peut préparer un gaz chimiquement pur, dont on connaisse exactement la densité; l'équation fait alors connaître le rapport $\frac{P}{S}$.

En réalité, il est plus commode de se donner ce rapport à

Digitized by Google

l'avance, ce qui permet de construire l'échelle des valeurs de A *a priori*. On charge ensuite la membrane, et l'on agit sur la vis V jusqu'à ce que l'appareil indique exactement la densité du gaz pur qu'on a préparé.

L'instrument, une fois taré, peut servir à déterminer immédiatement les forces ascensionnelles des autres gaz légers entre des limites assez étendues (de 8^{gr} à 1200^{gr}).

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 novembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Alexéeff, Vice-président de la Section d'Électricité de la Société Impériale Polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg;

Dollfus (Eugène), chimiste-fabricant d'indienne, à Mulhouse (Alsace);

Kœchlin (Horace), chimiste-fabricant d'indienne, à Lœrrach (Baden);

le Dr Mach (E.), professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche);

Pérard (L.), professeur à l'Université de Liège (Belgique);

Pinel (Charles-Louis), ingénieur mécanicien, à Rouen.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'un Mémoire de M. le Cte L. Hugo sur les *Conditions de résistance de certaines chaudières à vapeur*.

M. Dufet communique à la Société les résultats de mesures sur la variation des indices de réfraction du gypse avec la température. La variation de la double réfraction se mesure, pour une plaque perpendiculaire à la ligne moyenne, par la variation de l'angle des axes optiques, et, pour une plaque perpendiculaire à l'axe de

Digitized by Google

moyenne élasticité, par le déplacement des franges de Fizeau et Foucault. Dans ces deux directions, la double réfraction décroît quand la température augmente : elle augmente avec la température dans une direction perpendiculaire au troisième axe d'élasticité optique.

La variation des indices principaux se déduit de mesures faites sur le déplacement des franges de Talbot par la température ; on en conclut que les trois indices principaux diminue, quand la température s'élève, de quantités relativement considérables, mais très inégales.

M. Lartigue donne quelques renseignements sur l'installation des lignes téléphoniques à Paris, et, en particulier, sur la disposition employée à l'Exposition d'Electricité pour les auditions de l'Opéra.

M. D. Tommasi expose les expériences qu'il a faites sur l'électrolyse de l'eau à l'aide d'un seul élément Daniell, en employant comme électrode positive une lame de cuivre. M. Tommasi regarde comme insuffisante l'explication donnée par M. Berthelot à l'Académie des Sciences. Sur une interrogation de M. Le Chatelier, M. Tommasi reconnaît d'ailleurs n'avoir pas pesé le cuivre déposé et le cuivre dissous.

M. Shoolbred montre à la Société des tableaux résumant ses recherches sur le rendement des lampes à incandescence des systèmes Swan et Maxim. Il montre également d'autres tableaux sur le rendement de machines Siemens employées à transmettre la force.

Variation des indices de réfraction du gypse avec la température; par M. H. Dufet.

L'angle des axes optiques du gypse varie rapidement avec la température ; il est égal à 95°, dans l'air, à la température de 20° C. et devient nul à 115° C. ; les axes se séparent dans un plan perpendiculaire au premier. J'ai pensé dès lors que l'on pourrait facilement constater et mesurer les variations des indices principaux avec la température.

Digitized by Google

J'ai fait trois séries de mesures, dont les deux premières m'ont donné la variation de la double réfraction, et la troisième les variations des indices.

I. Une plaque de gypse perpendiculaire à la ligne moyenne est placée dans une cuve pleine d'eau et examinée au microscope polarisant de M. Des Cloizeaux. Les observations sont faites avec la lumière de la soude. L'eau est chauffée juqu'à 40° environ, et sa température est donnée par deux thermomètres placés très près de la plaque. On note la température et le temps; on observe aussi le temps au moment du pointé des anneaux; ceci permet, par un procédé graphique, de connaître la température de l'eau au moment du pointé. La température est connue à 0°,1 près et le déplacement des axes à 2′ ou 3′ près.

On peut ainsi calculer deux expressions qui donnent en degrés le déplacement des axes; en appelant δE et $\delta' E$ les variations de l'angle, on a

$$\delta E = 0,2185\,t + 0,001439\,t^2,$$
$$\delta' E = 0,1303\,t + 0,001152\,t^2.$$

L'écart entre le résultat du calcul et la courbe moyenne des expériences n'atteint pas 0′30″.

Voici comment je me suis servi de ces données expérimentales pour avoir une relation entre les variations des indices principaux. Si l'on admet, ce qui est sensiblement exact dans les limites de température des expériences, que la ligne moyenne reste perpendiculaire à la plaque, on tire des valeurs précédentes et de la valeur de l'angle des axes dans l'eau à 22° C., 66°23′, la valeur du demi-angle des axes dans l'eau

$$E = 0,657213 - 0,0030438\,t - 0,000022611\,t^2.$$

On obtient par un développement en série la valeur de $\sin E$, et en multipliant cette expression par l'indice de l'eau, on a le demi-angle extérieur des axes; j'ai pris pour l'indice de l'eau la valeur donnée par Wüllner :

$$n = 1,33493 - 0,000099\,t.$$

En appelant A le demi-angle des axes dans l'air, j'obtiens enfin

Digitized by Google

l'expression

$$\frac{d\sin^2 A}{dt} = -0,00534563 - 0,000680162\,t + 0,0000002992\,t^2 + 0,000000003655\,t^3.$$

Pour $t = 20°$, on a

$$\frac{d\sin^2 A}{dt} = -0,00665702.$$

Si maintenant j'appelle c, b, a les trois indices principaux, on a

$$\sin^2 A = \frac{c^2(b^2 - a^2)}{c^2 - a^2}.$$

En posant

$$c = c_0(1 + \gamma t),$$
$$b = b_0(1 + \beta t),$$
$$a = a_0(1 + \alpha t),$$

et en différentiant par rapport à t la valeur de $\sin^2 A$, on a

$$\frac{d\sin^2 A}{dt} = \frac{2}{c^2 - a^2}\left[-c\gamma\frac{a^2}{c}\sin^2 A + b\beta . bc^2 - a\alpha\frac{c^2}{a}(b^2 - \text{in}^2 A)\right].$$

Si je remplace $\frac{d\sin^2 A}{dt}$ par sa valeur, ainsi que a, b, c et A, on obtient l'expression

$$-c\gamma + b\beta . 4,32704 - a\alpha . 3,31348 = -0,000120315.$$

J'ai pris pour les indices les nombres donnés par M. von Lang[1], et pour A l'angle déduit par la formule de la valeur trouvée pour E.

II. Une autre relation entre $c\gamma$ et $a\alpha$ est donnée par l'observation des franges de Fizeau et Foucault. Ces franges sont produites par une lame de gypse, obtenue par clivage, qui donne deux rayons se propageant avec les vitesses $\frac{1}{c}$ et $\frac{1}{a}$.

La lumière d'une lampe à pétrole traverse un petit nicol et tombe

---

[1] Voir *Journal de Physique*, t. VII, p. 139 et 177.

Digitized by Google

sur la fente d'un collimateur; après le collimateur est une cuve de 1^{lit} environ, fermée par des glaces à faces parallèles, et où l'on place la lame de gypse; puis vient un second nicol, le prisme et la lunette. En plaçant dans la cuve de l'eau tiède, on voit par le refroidissement les bandes se déplacer lentement en allant du vert au rouge; un abaissement de température augmente donc la différence de marche. Le refroidissement est assez lent pour qu'on puisse admettre l'égalité de température de la plaque et de l'eau où elle plonge.

Pour repérer les bandes du spectre, je reçois sur le petit prisme à réflexion totale qui précède la fente du collimateur la lumière d'une lampe à sel marin; c'est un bec Bunsen, dont la flamme vient lécher un gros morceau de sel marin fondu. On peut remplacer la lampe par un tube de Geissler à hydrogène, ce qui donne les raies C et F.

Si j'appelle e l'épaisseur de la lame, μ le coefficient de dilatation déterminé par M. Fizeau, Δt la différence de température entre les passages de ces deux franges successives sur la raie D, on a évidemment

$$e(c-a)=k\lambda,$$
$$e(1+\mu\,\Delta t)[c(1+\gamma\,\Delta t)-a(1+\alpha\,\Delta t)]=(k-1)\lambda,$$

ou, en négligeant les termes de l'ordre de α^2,

$$c\gamma-a\alpha=-\frac{\lambda}{e\,\Delta t}-(c-a)\mu.$$

Le terme correctif $(c-a)\mu$ est petit; il est égal en moyenne à 0,0000039 pour les températures étudiées, de 40° C. à 12° C. Au moyen de seize plaques, dont les épaisseurs ont varié de 2^{mm} à 6^{mm}, j'ai obtenu comme valeur moyenne de $c\gamma-a\alpha$

$$c\gamma-a\alpha=-0,00001127.$$

Tous les résultats étaient compris entre 0,000012 et 0,000010.

III. On est arrivé ainsi aux deux relations

$$c\gamma-a\alpha=-0,00001127,$$
$$-c\gamma+b\beta.4,32704-a\alpha.3,13348=-0,000120315.$$

Digitized by Google

En éliminant $c\gamma$, il vient

$$c\gamma = a\alpha = -0,00001127,$$
$$b\beta - a\alpha.0,99685 = -0,0000304094.$$

On peut donc poser approximativement, en se bornant aux chiffres certainement exacts,

$$c\gamma - a\alpha = -0,000011,$$
$$b\beta - a\alpha = -0,000030,$$
$$c\gamma - b\beta = +0,000019.$$

Ces relations donnent la variation de la double réfraction pour des lames normales à l'axe moyen d'élasticité (plaques de clivage), normales à la ligne moyenne, c'est-à-dire à l'axe de plus petite élasticité, puisque le gypse est optiquement positif, et normales à l'axe de plus grande élasticité. Dans les deux premiers sens, la double réfraction diminue quand la température s'élève, dans le troisième elle augmente. En considérant la section de la surface de l'onde par le plan des axes, l'ellipse ayant pour demi-axes $\frac{1}{c}$ et $\frac{1}{a}$ s'allonge, pendant que le cercle de rayon $\frac{1}{b}$ se rapproche du grand axe de l'ellipse.

IV. Pour savoir si ces résultats sont dus à une augmentation ou à une diminution des indices, j'ai cherché si une variation de température produirait un déplacement des franges de Talbot (¹). Il faut, pour constater ce déplacement, une forte dispersion, car, pour 30° de variation de température, les franges ne se déplacent que d'une partie de l'intervalle des raies D_1 et D_2. J'employais deux prismes à vision directe et deux prismes de flint de 60°; les prismes n'étaient pas tout à fait au minimum de déviation, de manière à dilater les franges, tout en leur conservant une netteté suffisante; j'avais dans ces conditions près de 2′ d'écart entre les raies D, et je pouvais, avec certitude, apprécier $\frac{1}{10}$ de leur intervalle. Un collimateur reçoit à la fois la lumière d'une lampe à pé-

(¹) *Voir*, sur les franges de Talbot, un article de M. Mascart (*Journal de Physique*, t. I, p. 177).

Digitized by Google

trole concentrée par une large lentille et celle d'un bec Bunsen à sel marin : une partie du faisceau traverse la plaque de gypse placée dans une étuve de Gay-Lussac, percée sur deux faces et chauffée par une très petite lampe à alcool. Après l'étuve vient une fente à largeur variable, puis le système dispersif et la lunette. On obtient deux systèmes de franges, dont un seul est bien visible, à cause de la polarisation que subissent les rayons en traversant le système des prismes ; c'est celui qui correspond aux rayons dont la vitesse est $\frac{1}{c}$.

Le déplacement observé est des $\frac{2}{10}$ de l'intervalle des deux raies D_1 et D_2 pour une différence de température de 30° C., les franges se déplaçant du rouge vers le vert.

Pour une frange noire donnée, on a, en appelant c l'indice de la plaque et e son épaisseur,

$$(c-1)e=(2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Si, pour une augmentation de température, la frange se déplace de manière à correspondre à une longueur d'onde λ', on a

$$(c'-1)e=(2k+1)\frac{\lambda'}{2}.$$

Mais on a

$$e'=e(1+\mu\,\Delta t);$$

on peut poser

$$c'=c(1+\gamma\,\Delta t),$$

à cause de la petitesse du déplacement ; en portant dans les relations précédentes, et en négligeant le terme en $\gamma\mu$, il vient

$$\mu+\frac{c}{c-1}\gamma=-\frac{\lambda-\lambda'}{\lambda\,\Delta t}.$$

En appelant λ_1 et λ_2 les longueurs d'onde des deux raies D_1 et D_2, m la fraction de leur intervalle comprise entre la bande noire et la raie D, j'ai évidemment

$$\lambda=(1-m)\,\lambda_1+m\,\lambda_2,$$
$$\lambda'=(1-m')\lambda_1+m'\lambda_2,$$

Digitized by Google

d'où je tire

$$\lambda - \lambda' = (m' - m)(\lambda_1 - \lambda_2).$$

La différence $\lambda_1 - \lambda_2$ se déduit, avec une grande exactitude, des expériences de M. Fizeau sur les anneaux colorés; si l'on éclaire ces anneaux avec la lumière de la soude, et si l'on augmente progressivement l'épaisseur de la lame d'air, les anneaux deviennent confus et disparaissent pour reparaître ensuite, et disparaître de nouveau. Entre deux disparitions successives, l'épaisseur de la lame d'air a augmenté de $0^{mm},28945$. Le double de cette épaisseur contient un nombre de longueurs d'onde λ_2, supérieur d'une unité au nombre de longueurs d'onde λ_1 qu'il contient; on tire facilement de là, en appelant ε l'épaisseur de la lame d'air et n l'indice de l'air,

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{2 n \varepsilon}.$$

En remplaçant, dans l'équation

$$\mu + \frac{c}{c-1}\gamma = -\frac{\lambda - \lambda'}{\lambda \Delta t},$$

$\lambda - \lambda'$ par sa valeur, on a

$$\mu + \frac{c}{c-1}\gamma = -\frac{(m' - m)\lambda}{2 n \varepsilon \Delta t},$$

$$\mu + \frac{c}{c-1}\gamma = -0,001017\frac{m' - m}{\Delta t}.$$

Le coefficient de dilatation μ est connu par les expériences de M. Fizeau; il est égal à

$$0,00004163 + 0,0000000936(\theta - 40),$$

θ étant la température moyenne.

La valeur expérimentale de $m' - m$ est 0,2, et je puis affirmer qu'elle est comprise entre 0,25 et 0,15; on en déduit pour $c\gamma$ la valeur

$$c\gamma = -0,0000254.$$

Les valeurs extrêmes 0,25 et 0,15 donneraient

$$c\gamma = -0,0000263,$$

$$c\gamma = -0,0000245.$$

Digitized by Google

En tenant compte des résultats trouvés pour la variation de double réfraction, on a

$$c\gamma = -0,000025,$$
$$a\alpha = -0,000014,$$
$$b\beta = -0,000044.$$

Les trois indices principaux diminuent, par la température, de quantités relativement considérables, mais très inégales entre elles. Je crois pouvoir compter sur les deux chiffres significatifs que je donne.

Sur le réseau téléphonique de Paris et sur les auditions de l'Opéra au palais de l'Industrie; par M. H. Lartigue.

Il est actuellement peu de villes de quelque importance en Europe, comme aux États-Unis, qui n'aient leur réseau téléphonique. Il était facile de prévoir, dès l'origine de l'invention du téléphone, qu'on utiliserait, pour le développement des transactions industrielles et commerciales et pour la facilité des rapports sociaux, le merveilleux instrument de Bell.

Les réseaux téléphoniques ont pour objet de mettre en communication directe, sur leur demande, les personnes d'un même centre de population qui ont traité dans ce but avec l'entreprise chargée de l'exploitation et que l'on désigne sous le nom d'*abonnés*. Chaque abonné peut ainsi communiquer à volonté avec tous les autres abonnés du même groupe.

Le réseau se compose :

1° De postes téléphoniques, installés chez les abonnés, et qui comprennent chacun un transmetteur, avec ou sans pile, un ou deux récepteurs et un appareil pour recevoir et produire les appels;

2° De fils conducteurs partant des postes d'abonnés et convergeant vers un centre commun qu'on appelle *bureau* ou *poste central;*

3° De ce poste central qui possède des appareils pour recevoir les appels en nombre égal à celui des abonnés desservis, des transmetteurs et des récepteurs en quantité suffisante pour permettre

Digitized by Google

de rapides échanges de demandes et de réponses, et enfin des commutateurs disposés pour établir les communications directes entre les lignes des abonnés qui désirent correspondre entre eux.

Je ne crois pas devoir entrer dans des détails au sujet des divers types de microphone et de téléphone employés comme transmetteurs et récepteurs; ils ont été décrits et sont bien connus, ainsi que les appareils pour les appels.

Les fils conducteurs sont, ou bien aériens et posés dans les conditions des fils télégraphiques, au-dessus des maisons; ou bien souterrains, soit qu'il existe, comme à Paris, un réseau d'égouts, soit qu'on les dispose dans des tranchées pratiquées à cet usage.

Je me bornerai, aujourd'hui, à dire quelques mots du réseau parisien.

Comme on le sait, la ville de Paris est dotée d'un admirable système de canalisation souterraine, destiné, non seulement à écouler les eaux ménagères et les immondices liquides, mais organisé dans des proportions qui permettent d'y faire poser les conduites d'eaux, les tubes des télégraphes et des horloges pneumatiques, et les câbles télégraphiques pour le service de l'État et de la Municipalité.

La Société générale des téléphones, qui a reçu de M. le Ministre des Postes et des Télégraphes l'autorisation d'exploiter les réseaux téléphoniques de Paris et des principales villes de France, a fait, avec la ville, un traité aux termes duquel elle peut, moyennant une redevance, utiliser les égouts pour le passage de ses fils conducteurs.

Des crochets sont, à cet effet, disposés sur les parois des égouts et reçoivent les câbles téléphoniques. Ceux-ci se composent de fils isolés et câblés deux à deux pour former, pour chaque ligne d'abonné, un conducteur d'aller et un conducteur de retour. Les phénomènes d'induction ont, en effet, nécessité l'adoption du double conducteur; cette disposition est bien plus onéreuse, mais elle donne une complète satisfaction aux abonnés parisiens, peu portés à imiter les abonnés américains qui se déclarent très suffisamment desservis lorsqu'ils comprennent, au milieu de tous les bruits accessoires, les paroles de leurs correspondants, et disent que chacun a trop de ses affaires pour s'occuper de ce que disent les autres.

Digitized by Google

Le câble qui part de chez les abonnés comprend seulement deux conducteurs : sept de ces conducteurs doubles se réunissent ensuite aux sept conducteurs doubles d'un câble unique qui est mené jusqu'au bureau central.

Là, les sept conducteurs doubles de tous les câbles s'épanouissent autour d'une rosace en menuiserie, et chacun des conducteurs est ensuite prolongé d'un fil paraffiné double, qui aboutit au bureau central.

La disposition en rosace a été préférée parce qu'elle permet de déplacer facilement les fils paraffinés qui forment un véritable cône, et de grouper ainsi les abonnés qui correspondent le plus fréquemment entre eux. C'est ce que l'on appelle faire le groupement sympathique des abonnés.

Au bureau central, les fils aboutissent à des commutateurs du type dit *Jack-Knife;* au moyen de cordons souples à deux fils isolés et de fiches fixées à ces cordons, on peut, soit laisser les lignes en relation avec les appareils destinés à recevoir les appels et dits *annonciateurs,* soit les mettre en communication avec les appareils de transmission, soit enfin les relier entre elles deux à deux, pour établir les communications directes. Les commutateurs et les annonciateurs sont groupés par Tableau de vingt-cinq.

Il serait assez difficile de faire comprendre, sans un modèle, le mécanisme de ces diverses opérations, mais tout le monde a pu examiner, au palais de l'Industrie, le spécimen de bureau central exposé par la Société générale des téléphones, et le voir fonctionner.

Du reste, ceux des membre de la Société de Physique que cela pourrait intéresser seront les très bien venus s'ils veulent me faire l'honneur de visiter notre principal bureau, 27, avenue de l'Opéra.

Je dis notre principal bureau. Nous n'avons pu songer en effet à grouper dans un centre unique tous les abonnés d'une ville aussi grande que Paris.

Pour économiser la longueur des câbles et aussi pour faciliter et hâter le service, qui serait devenu presque impossible s'il avait fallu que les agents du bureau central connussent les noms de plusieurs milliers d'abonnés avec la place occupée par leurs fils aux commutateurs, on a installé dans chaque quartier un bureau

Digitized by Google

central auquel aboutissent les fils des abonnés de la circonscription : ces bureaux sont au nombre de douze. Ils sont reliés entre eux par des câbles auxiliaires, chaque bureau correspondant directement avec tous les autres. C'est un véritable polygone étoilé ; seulement, pour diverses raisons, nous avons cru devoir faire converger tous les câbles auxiliaires à une même rosace, placée dans une annexe de notre bureau principal, et établir, là, les communications directes entre eux, en reliant métalliquement les conducteurs deux à deux.

Voici comment se fait le service : prenons le cas le plus simple.

Un abonné veut parler à un autre abonné relié au même bureau. Il appelle, et l'employé, après avoir reçu sa demande, appelle lui-même le correspondant, et, lorsque celui-ci a répondu, il établit la communication. Supposons maintenant un abonné de Passy voulant communiquer avec un abonné de La Villette.

Il appelle le bureau de Passy, auquel il est relié. L'employé lui répond, en lui demandant ce qu'il désire ; il demande la communication avec le bureau de la Villette. Lorsque cette communication est établie, au moyen du câble auxiliaire, il nomme à l'agent de ce second bureau le correspondant qu'il demande ; celui-ci est appelé et mis ensuite en communication.

Pour que la fin de la conversation soit annoncée, ce qui permet aux agents de supprimer la communication directe, on laisse, au bureau, en communication avec la ligne, l'annonciateur de l'un des interlocuteurs. Ceux-ci, lorsqu'ils cessent de parler, font la manœuvre qu'ils ont faite pour appeler, c'est-à-dire, pressent le bouton d'appel de leur appareil. L'annonciateur, laissé dans le circuit, fonctionne, et l'agent retire ses fiches et remet les lignes en relation avec les sonneries.

Je compléterai cet exposé en disant, à titre de renseignement, qu'à Paris le service n'est jamais interrompu. Le jour il est assuré par des femmes qui doivent être jeunes et fort alertes pour suffire aux appels ; car les communications se font surtout en trois périodes d'une heure à peu près chacune, et elles atteignent, pour 1300 abonnés reliés, le nombre de 60 000 à 65 000 par semaine. La statistique que j'ai fait dresser m'a démontré que ce nombre croît bien plus vite, non seulement que le nombre des abonnés, mais même que le carré de ce nombre. Il y a quelque temps, une em-

Digitized by Google

ployée suffisait pour desservir 80 abonnés; maintenant, il en faut une par 40 ou 50, et nous prévoyons que bientôt il faudra encore changer la proportion.

De 7^h du soir à $8^h 30^m$ du matin, le service est fait par des hommes.

Le nombre de nos abonnés s'accroît tous les jours, et si la production des câbles avait pu être suffisante, nous en aurions une bien plus grande quantité. Les mesures que nous avons prises nous permettront bientôt de relier tous ceux qui attendent encore leurs communications et de satisfaire à toutes les demandes.

Je passe à la seconde partie de mon programme. Vous savez que les auditions téléphoniques de l'Opéra ont été une des grandes attractions populaires de l'Exposition d'Électricité. Les résultats, très satisfaisants, que la plupart d'entre vous ont constatés, ont été obtenus grâce à certaines dispositions fort ingénieuses, qu'à la suite d'expériences suivies a imaginées M. Ader, ingénieur attaché à la Société des Téléphones.

M. le Ministre des Postes et Télégraphes, M. A. Bréguet, M. G. Berger, commissaire général de l'Exposition, M. Vaucorbeil, directeur de l'Opéra, M. Ch. Garnier, ont aussi, par leur intervention directe ou indirecte, contribué au succès, qui n'a cessé de s'affirmer jusqu'au dernier moment.

Il avait été question, d'abord, de faire entendre concurremment l'Opéra et le Théâtre-Français; mais, quoique les résultats, pour ce dernier théâtre, aient été très remarquables, on a constaté qu'ils étaient moins saisissants pour le public et obtenaient moins de faveur que les auditions de l'Opéra. On a donc renoncé à répartir entre les deux théâtres les quatre salles d'audition, et on les a consacrées toutes à l'Opéra.

Voici les dispositions qui ont été adoptées :

20 câbles à deux conducteurs ont été amenés de l'Opéra au palais de l'Industrie.

20 paires de téléphones ont été installées dans chacune des 4 salles d'auditions; on a divisé ces 80 paires en 2 séries, réparties chacune dans 2 salles, et il a été décidé qu'une série serait en communication avec l'Opéra, pendant que l'autre série serait isolée. Deux salles étaient donc garnies de 40 auditeurs qui recevaient la transmission, pendant que, dans les deux autres, on évacuait

Digitized by Google

les 40 auditeurs qui avaient déjà écouté et qu'on en admettait 40 nouveaux.

Des commutateurs, formés de lames élastiques, qu'un couteau de bois pouvait séparer, permettaient de diriger les courants, soit dans un sens, soit dans l'autre. Ces commutateurs étaient groupés en deux séries, de telle sorte que, par une seule manœuvre, on isolait tous les fils aboutissant à deux des salles, et que, par la manœuvre symétrique, on mettait en communication les fils aboutissant aux deux autres salles. Cette opération était très rapide, et, de cette façon, il n'y avait aucun moment perdu pour l'audition; le public a pu circuler sans trouble. 4000 auditeurs environ étaient ainsi admis chaque soir.

Les salles étaient garnies de tapis sur toutes les faces, afin d'éviter les bruits extérieurs.

Les appareils employés étaient du système Ader. Le microphone transmetteur est, comme vous le savez, formé de cylindres de charbon librement suspendus sur des prismes de même matière. Ces cylindres étaient disposés en cinq séries parallèles réalisant, par la vibration, des alternances très marquées de l'intensité du courant inducteur, et néanmoins ne permettant pas la rupture totale du circuit, ce qui évite les crachements.

Le fil inducteur de la bobine a une résistance de $1^{\text{ohm}},5$; celle du fil induit est de 150^{ohms}.

Quant au récepteur, l'emploi du surexcitateur, qui y constitue le véritable perfectionnement de M. Ader, donne aux sons une netteté et une vigueur particulières. La résistance de chaque bobine est de 40^{ohms}.

Les piles sont du système Leclanché, grand modèle; 3 éléments étaient employés pour chaque transmetteur, et, pour éviter les effets de la polarisation, on en utilisait 5 séries, que l'on mettait successivement en fonction de quart d'heure en quart d'heure.

Il est probable que, dans cette première application, on n'a pas obtenu tout ce qu'une étude plus prolongée et mieux raisonnée amènera. On pourra grouper les appareils d'une façon plus avantageuse, trouver des places meilleures pour les transmetteurs, etc. Il n'était pas facile de multiplier les essais, parce qu'il fallait, avant tout, n'apporter aucun trouble au service ordinaire des théâtres, et l'on s'est arrêté dès que l'on est arrivé à un résultat

Digitized by Google

qui, je puis le dire, dépassait déjà les prévisions et les espérances.

Sur la scène de l'Opéra, entre la galerie qui sépare l'orchestre des musiciens du plancher de la scène et la rampe de becs de gaz à flamme renversée qui éclaire celle-ci, étaient disposés 20 transmetteurs fixés sur des socles en plomb, portés sur des pieds en caoutchouc, et assez lourds pour empêcher l'effet des trépidations du plancher, surtout pendant les danses. Dix étaient à droite de la logette du souffleur et dix à gauche. De chacun d'eux partaient les deux fils d'un des câbles. Les fils de chaque transmetteur de droite aboutissaient à quatre récepteurs groupés en séries, destinées à l'oreille droite de quatre auditeurs; les fils du transmetteur de gauche, placé symétriquement par rapport au milieu de la scène, aboutissaient aux quatre récepteurs, aussi disposés en séries, destinés aux oreilles gauches des mêmes quatre auditeurs. Ainsi chaque auditeur recevait les sons émanés de deux transmetteurs, l'un à droite, l'autre à gauche de la scène. Il se produisait par là un effet en quelque sorte stéréoscopique, qui améliorait d'une façon remarquable la perception, et produisait quelque chose d'analogue à ce que l'on observe à certains points privilégiés des théâtres de musique, où tous les sons des voix et de l'orchestre arrivent fondus en un tout harmonieux.

Les 40 récepteurs de chaque série étaient ainsi desservis alternativement. L'expérience a prouvé que le nombre de quatre récepteurs pour chaque transmetteur était un maximum qu'il ne fallait pas dépasser, sous peine de perdre beaucoup en intensité.

On aurait pu obtenir peut-être plus de force de son, en employant d'autres systèmes, l'électromotographe par exemple; mais ces instruments ne sont puissants qu'aux dépens de la netteté : ils dénaturent la voix, et l'on se serait exposé à n'avoir, au lieu de ces effets si extraordinaires et si séduisants, qu'une grotesque parodie. Notre but aurait été absolument manqué.

Et maintenant, que deviendront ces expériences? Elles n'en resteront certainement pas là. Les auditions théâtrales à domicile soulèvent un certain nombre de questions assez complexes; nous les étudions, et je ne doute pas que, d'ici peu, des établissements publics, et aussi quelques particuliers assez riches pour se payer cette coûteuse fantaisie, ne puissent avoir leur salle d'audition d'opéra et de concert.

Digitized by Google

Électrolyse de l'eau; par M. le Dr Tommasi.

On sait qu'un élément voltaïque formé d'une lame de zinc et d'une lame de charbon ou de cuivre plongeant dans l'acide sulfurique étendu est incapable de décomposer l'eau, quelque grande que soit d'ailleurs la surface de cet élément, tandis que la décomposition de l'eau s'effectue aisément si l'on emploie deux petits éléments zinc-charbon ou zinc-cuivre et acide sulfurique étendu.

Je vais montrer cependant qu'il est possible de décomposer l'eau en n'employant qu'un seul élément voltaïque, zinc-charbon ou zinc-cuivre et acide sulfurique étendu; pour obtenir ce résultat, il suffit de choisir convenablement les rhéophores, comme le prouvent les expériences variées dont voici la description :

1° Élément zinc-charbon avec acide sulfurique étendu.

Platine + Platine —. L'eau n'est pas décomposée.

Argent + Argent —. Dégagement de gaz hydrogène au pôle négatif; autour du pôle positif, il se produit un trouble blanc.

Cuivre + Cuivre —. Dégagement d'hydrogène au pôle négatif.

Plomb + Plomb —. On n'a pu constater aucun effet visible.

Étain + Étain —. Production de gaz au pôle négatif; aucun changement au pôle positif.

Zinc + Zinc —. Les zincs sont naturellement vivement attaqués par l'eau acidulée. Pendant le passage du courant, on n'a pu constater aucun changement.

Platine + Argent —. Pas de décomposition.

Platine — Argent +. Dégagement de gaz au pôle platine, assez fort au commencement, mais qui diminue ensuite. Autour de l'argent, il se forme un trouble blanc qui se répand ensuite dans tout le liquide.

Platine + Cuivre —. Dégagement d'hydrogène au pôle platine. Autour du cuivre, on n'observe pas de bulles gazeuses; le cuivre se dissout en se transformant en sulfate, lequel se décompose aussitôt à son tour, et le cuivre vient se déposer sur le platine sans que, pour cela, le dégagement de gaz cesse d'avoir lieu au pôle négatif.

Platine + Plomb —. Aucune décomposition.

Platine — Plomb +. Faible décomposition; le gaz se dégage au pôle négatif.

Platine + Étain —. Pas de réaction.

Platine — Étain +. Dégagement de gaz autour du platine.

Platine + Zinc —. Pas de production de gaz au pôle positif.

Digitized by Google

Platine — Zinc +. Dégagement très fort de gaz au pôle négatif.
Argent + Cuivre —. Pas de réaction.
Argent — Cuivre +. Dégagement de gaz au pôle argent; le cuivre entre en dissolution et se porte immédiatement sur l'argent. Au bout de quelques minutes, l'électrode d'argent s'est recouverte de cuivre, mais le dégagement de gaz a toujours lieu.
Argent + Plomb —. Il se produit autour de l'argent un trouble blanc; au pôle plomb, il ne se dégage pas de gaz.
Argent — Plomb +. Dégagement de gaz très faible au pôle négatif.
Argent + Étain —. Pas de décomposition.
Argent — Étain +. Dégagement de gaz au pôle argent.
Argent + Zinc —. Pas de réaction.
Argent — Zinc +. Dégagement de gaz au pôle argent.
Cuivre + Plomb —. Dégagement de gaz au pôle négatif presque aussi fort qu'avec le couple platine — cuivre +.
Cuivre — Plomb +. Pas de décomposition ([1]).
Cuivre + Étain —. Pas de réaction.
Cuivre — Zinc +. Dégagement d'hydrogène très fort au pôle cuivre.
Plomb + Étain —. Pas de réaction; cependant, il se dégage de l'hydrogène au pôle étain, lorsqu'il a été employé auparavant comme électrode positive; le dégagement du gaz cesse d'ailleurs au bout de quelques instants.
Plomb — Étain +. Faible dégagement de gaz au pôle négatif.
Plomb + Zinc —. Pas de réaction.
Plomb — Zinc +. Faible dégagement de gaz au pôle négatif.
Etain + Zinc —. Pas de réaction.
Étain — Zinc +. Dégagement de gaz au pôle étain.

Deuxième élément zinc-cuivre avec acide sulfurique dilué.

En variant la nature des rhéophores, on obtient le résultat suivant :

Platine + Platine —. Pas de décomposition de l'eau.
Platine + Cuivre —. L'eau n'est pas décomposée.
Platine — Cuivre +. Dégagement assez fort d'hydrogène au pôle négatif.

Les effets obtenus avec le couple zinc-cuivre sont moins intenses que ceux que l'on a avec le couple zinc-charbon, comme aussi

([1]) Il est à remarquer que, si le plomb a servi dans une expérience précédente comme électrode négative et le cuivre comme électrode positive, alors, au moment où l'on ferme le circuit voltaïque, il se produit un dégagement de gaz au pôle cuivre qui ne dure qu'un seul instant.


Digitized by Google

leur durée est moins longue; c'est pour cette raison que j'ai préféré employer dans les expériences qui vont suivre le couple zinc-charbon.

Troisième élément zinc-charbon avec acide sulfurique étendu.

Charbon + Charbon [1] —. Faible dégagement de gaz au pôle négatif, ne se produisant qu'après quelques instants que le circuit a été fermé.
Charbon + Platine —. Dégagement de gaz autour du platine.
Charbon — Platine +. Pas de décomposition de l'eau.
Charbon — Cuivre +. Faible dégagement de gaz au pôle négatif.
Charbon + Cuivre —. L'eau n'est pas décomposée.
Charbon — Plomb +. Dégagement de gaz très faible autour du charbon.
Charbon + Plomb —. Pas de décomposition. Il se produit seulement un faible dégagement de gaz autour du plomb, lorsqu'il a servi auparavant comme l'électrode positive : le dégagement de gaz cesse d'ailleurs au bout de quelques instants.
Charbon — Argent +. Dégagement de gaz fort douteux autour du charbon.
Charbon + Argent —. Dégagement de gaz au pôle négatif.
Charbon + Aluminium —. Dégagement de gaz autour de l'aluminium.
Charbon — Aluminium +. Pas de réaction.
Charbon + Or —. Dégagement de gaz au pôle or.
Charbon — Or —. Pas de décomposition.

Quatrième élément zinc-charbon avec le bichromate de potasse.

Rappelons qu'avec un seul élément au bichromate on ne peut décomposer l'eau, si les deux électrodes sont en platine, mais que la décomposition peut avoir lieu en variant la nature des électrodes.

Les effets obtenus par la pile au bichromate étant les mêmes, sauf qu'ils sont plus intenses que ceux que l'on obtient avec l'élément zinc-charbon et acide sulfurique étendu, je me bornerai à citer seulement les expériences qui présenteront un certain intérêt.

Platine — Cuivre +. Dégagement de gaz au pôle négatif très fort. Le cuivre se dissout et se porte, comme je l'ai déjà dit, sur le platine, sans que, pour cela, le dégagement d'hydrogène cesse d'avoir lieu. J'ai ajouté alors un cristal de sulfate de cuivre. La solution cuivrique a été

---

[1] Ce charbon est constitué par une mine en graphite, préalablement chauffée au rouge.

Digitized by Google

immédiatement décomposée par le courant voltaïque; le cuivre s'est porté sur le platine et l'a recouvert complètement; mais, malgré la décomposition du sulfate de cuivre, l'eau n'a pas cessé d'être décomposée.

Platine + Charbon —. Dégagement autour du platine excessivement faible, douteux même. Le dégagement de gaz est assez fort, au contraire, si le platine a servi auparavant comme électrode négative. Le dégagement de gaz s'arrête du reste bientôt, ce qui prouve qu'il ne provient pas de la décomposition de l'eau, mais plutôt qu'il est dû au gaz absorbé par le platine, lequel se dégage sous l'action du courant voltaïque agissant en sens inverse.

Charbon + Cuivre —. Dégagement de gaz au pôle cuivre.

Charbon — Argent +. Faible dégagement de gaz autour du charbon. L'argent se recouvre d'oxyde. Il est à observer que, si l'argent a servi précédemment comme électrode négative, il y a dégagement de gaz assez fort autour de l'argent, mais qui cesse bientôt. Le dégagement de gaz autour du charbon n'a lieu qu'après quelques minutes que le dégagement de gaz autour de l'argent a cessé, de sorte qu'il y a un moment où l'eau ne paraît subir aucune décomposition.

Cinquième élément zinc-charbon avec acide sulfurique étendu.

Aluminium + Aluminium —. Dégagement de gaz au pôle négatif.

Aluminium — Cuivre +. Dégagement de gaz autour de l'aluminium.

Aluminium + Cuivre —. Dégagement de gaz autour du cuivre fort douteux.

Aluminium + Argent —. Faible dégagement autour de l'argent.

Aluminium — Argent +. Pas de décomposition de l'eau.

Aluminium + Plomb —. id. id.

Aluminium — Plomb +. Dégagement excessivement faible autour de l'aluminium.

Aluminium + Or —. Dégagement excessivement faible autour de l'or.

Aluminium — Or +. Pas de décomposition de l'eau.

Sixième élément zinc-charbon avec bichromate de potasse.

Mêmes effets que précédemment, sauf avec plus d'intensité. Le seul fait qui mérite d'être signalé, c'est que, tandis que l'eau n'est pas décomposée par les électrodes aluminium — et argent +, si l'on emploie un élément zinc-charbon avec acide sulfurique étendu, la décomposition de l'eau a lieu avec ces mêmes électrodes, pourvu que l'on se serve d'un élément au bichromate. Le dégagement de gaz a lieu autour de l'aluminium. Au moment où l'on ferme le circuit, le dégagement de gaz est assez fort, mais il

Digitized by Google

diminue rapidement d'intensité. L'argent se recouvre d'une couche d'oxyde.

Septième élément de Bunsen.

Le résultat a été :

Platine — Platine +. Décomposition à peine visible; c'est tout au plus si l'on peut constater des bulles gazeuses sur le pôle négatif.

Platine — Cuivre +. Dégagement très fort d'oxygène au pôle négatif: le cuivre se dissout et se porte immédiatement au pôle négatif sans que le dégagement de gaz cesse d'avoir lieu.

Nous venons de voir que, si l'on emploie le charbon comme électrode positive, on peut arriver à décomposer l'eau, même en n'employant qu'un seul élément. Nous venons de voir aussi que le dégagement de gaz n'a lieu que sur l'électrode négative seulement. Que devient dès lors l'oxygène? C'est une question sur laquelle mes expériences ne sont pas définitives et sur laquelle je me propose de revenir.

Dans ce travail tout à fait préliminaire je n'ai voulu citer que des faits. J'espère bientôt être à même de donner quelques explications sur les singuliers phénomènes dont je viens de parler et qui ne me paraissent pas pouvoir être expliqués, comme le pense M. Berthelot (1), par de simples considérations thermochimiques.

Quant à présent, les seules conclusions que l'on puisse tirer de ce travail sont les suivantes :

1° Un élément zinc-cuivre ou zinc-charbon qui plonge dans de l'acide sulfurique étendu ne décompose pas l'eau, conformément à la théorie, si les deux électrodes sont en platine.

2° Pour que la décomposition de l'eau puisse s'effectuer, il faut que l'électrode positive soit constituée par une substance qui, sous l'influence du courant voltaïque, soit capable de se combiner à l'oxygène de l'eau.

---

(1) Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 7 novembre 1881. L'interprétation donnée par M. Berthelot à mes expériences s'était tout d'abord présentée à mon esprit; mais je ne crois pas qu'elle suffise à une explication complète des phénomènes.


Digitized by Google

Sur le rendement des machines dynamo-électriques conjuguées pour la transmission de force; par M. James N. Shoolbred, Membre de l'Institution des Ingénieurs civils de Londres.

Dans cette Communication, l'auteur ne pense pas devoir traiter dans toute son étendue la question de la transmission de la force. Il se bornera à mentionner certaines expériences, qui lui paraissent devoir fournir des résultats intéressants et, en même temps, très importants au point de vue de la pratique et de l'économie.

Relativement à la proportion de force mécanique exigée par la première machine (la génératrice) qui est rendue en force utilisable par la seconde machine (la motrice), il a été généralement admis que cette proportion n'était que de 50 pour 100 de la force initiale.

Il y a quelques mois, le Dr C.-W. Siemens, en Angleterre, en raison des expériences du docteur Werner Siemens, a constaté un rendement de 60 pour 100; d'aûtres électriciens, parmi lesquels se trouve le professeur Ayrton, croient que cette proportion pourrait s'élever à 70 pour 100, et même au delà.

Quelques expériences corroboratives, faites par l'auteur avant l'époque où cette question a été agitée, peuvent offrir de l'intérêt et indiquer, en même temps, les circonstances qui peuvent produire cette augmentation de rendement.

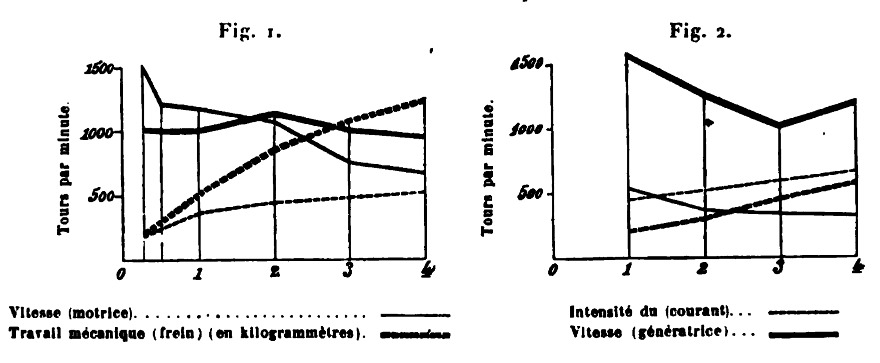
Il est déjà démontré que le rendement d'un système de deux machines dynamo-électriques conjuguées est égal au rapport des forces électromotrices des deux machines. Jusqu'à présent, dans beaucoup de cas de transmission de force, on s'est servi des machines d'une construction identique. Par ce fait, on abandonne un des éléments qui peuvent influer sur la production de la force électromotrice, savoir: 1° la résistance intérieure de la machine, et 2° la vitesse (c'est-à-dire l'intensité du courant produit).

L'auteur se trouvait dans une grande usine en Angleterre; on s'y servait, pour l'éclairage électrique, d'un nombre considérable de machines dynamo-électriques, construites par la maison Siemens. Les machines représentaient en outre divers types de construction. On a eu l'obligeance de mettre à sa disposition, pour ses expériences, deux types de machines à courants continus et deux machines de

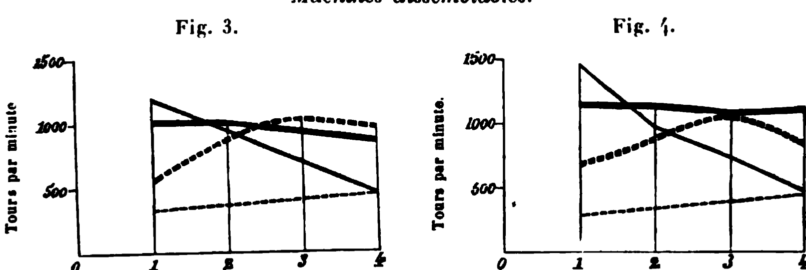
Digitized by Google

TRANSMISSION DE FORCE PAR MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES CONJUGUÉES.

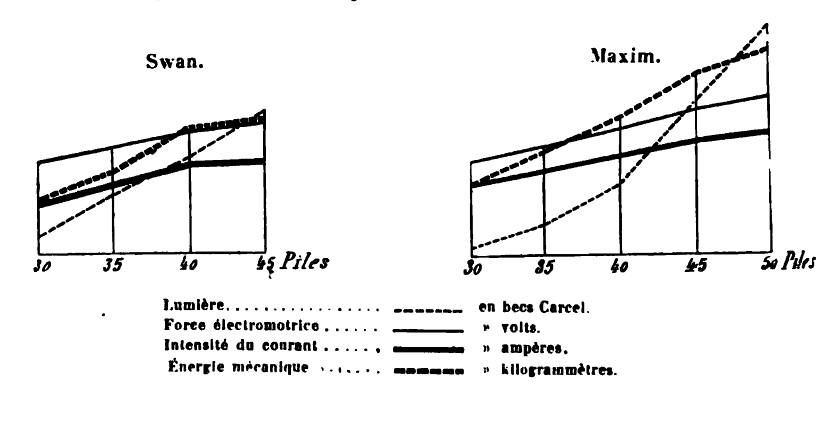
Machines identiques.



Machines dissemblables.



ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE PAR INCANDESCENCE.



Digitized by Google

chaque type. Ces types sont désignés par les lettres D^7 et D^6. La machine à vapeur qui servait à l'éclairage électrique a été employée comme moteur, et le travail fait par la seconde machine a été mesuré au moyen d'un frein Prony.

En produisant de la lumière électrique, les deux types de machines choisis présentaient approximativement les données suivantes :

	Résistance intérieure en ohms.	Intensité du courant en ampères.	Force électromotrice en volts.	Vitesse par minute en tours.	Chevaux-vapeur.
Grande machine, le D^7....	0,5	40	20	950	3
Petite machine, le D^6.....	1,0	30	30	1200	2

Les diagrammes ci-joints représentent en détail les résultats des combinaisons de ces deux types de machine, dans les expériences faites pour la transmission de force.

La *fig.* 1 indique la combinaison des deux machines identiques du type D^7.

La *fig.* 2 indique la combinaison des deux machines identiques du type D^6.

Dans la *fig.* 3, une grande machine D^7 (d'une force électromotrice plus grande) fait marcher une petite machine D^6 (mais d'une force électromotrice moindre).

Dans la *fig.* 4, c'est l'inverse ; une D^6 fait marcher une D^7.

Les diagrammes 3 et 4 (qui présentent le plus d'intérêt) donnent, à première vue, des résultats semblables.

Mais comme le n° 3 a exigé une force motrice plus grande que pour faire la même quantité de travail avec la machine motrice, c'est le n° 4 qui donne les meilleurs résultats.

Cela vient de ce que, dans le dernier cas, la force électromotrice de la machine génératrice a été supérieure à celle de la machine motrice, tandis que dans le n° 3 c'était le contraire.

Dans les diagrammes ci-joints, les poids servant à mesurer l'action du frein dans chaque expérience successive sont représentés sur l'horizontale ; les vitesses et l'intensité du courant, sur les verticales.

La ligne en petits points représente l'intensité du courant en ampères, la grosse ligne pleine la vitesse de la machine génératrice, la petite pleine la vitesse de la machine motrice, tandis que

Digitized by Google

la ligne en gros pointillé représente en kilogrammètres le travail mécanique du frein.

Sur la valeur relative de l'incandescence dans l'éclairage électrique; par M. James N. Shoolbred, membre de l'Institution des Ingénieurs civils de Londres.

En raison de l'importance que l'incandescence sans combustion prendra probablement dans la lumière électrique, surtout pour l'éclairage à domicile, l'auteur croit intéressant de donner une courte description de quelques expériences comparatives qu'il a faites à Londres avec les lampes de Swan et de Maxim : avec la permission de MM. les Directeurs de la Cie *la Force et la Lumière,* de sir W. Thomson (qui a eu la bonté de prêter ses instruments électriques), et de M. J.-W. Keates, inspecteur en chef de la municipalité de Londres pour le gaz (qui a facilité les opérations photométriques). Une machine dynamo-électrique de Gramme (type d'atelier) avait servi préalablement à charger des piles secondaires Faure, qui alimentaient les lampes pendant les expériences.

1re Série. — *Une lampe en circuit, système Swan.*

Nombre d'éléments employés.	Force électromotrice en volts.	Intensité du courant en ampères.	Intensité de lumière en becs Carcel.	Travail mécanique (1) en kilogrammètres.
30	73	1,28	2,4	9,5
35	85	1,84	6,9	15,9
40	97	2,38	14,8	23,5
45	104	2,50	21,5	26,5 (2)

2e Série. — *Une lampe en circuit, système Maxim.*

Nombre d'éléments employés.	Force électromotrice en volts.	Intensité du courant en ampères.	Intensité de lumière en becs Carcel.	Travail mécanique (1) en kilogrammètres.
30	74	1,71	1,7	13,7
35	85	2,24	4,8	19,4
40	98	2,59	10,6	25,9
45	113	3,00	24,1	34,6
50	124	3,20	35,1	40,5 (2)

(1) Pour se rendre compte du véritable élément du travail mécanique produit, il faudrait pouvoir mesurer la perte du courant causée par l'intervention de la pile, ce qui n'a pas été constaté, et ce qui n'entre pas par conséquent dans les chiffres donnés ci-contre.

(2) Lampe brisée après quelques minutes.

Digitized by Google

Dans les diagrammes ci-joints (p. 256), la ligne horizontale représente les nombres successifs des éléments de pile, et la verticale les intensités électriques et photométriques. La grosse ligne noire indique l'intensité du courant en ampères, la ligne fine la force électromotrice, le pointillé fin l'intensité de la lumière en becs Carcel, et le gros pointillé le travail mécanique en kilogrammètres.

Dans les installations ordinaires, c'est-à-dire avec un courant venant directement de la machine, le fonctionnement d'une lampe est à peu près représenté par la lumière résultant de l'action de trente piles dans chacun des deux systèmes. Cependant, par suite des irrégularités dans l'action de la machine ou du moteur, on ne doit pas pousser plus loin le rendement de la lampe, moins encore avec une machine à gaz comme puissance motrice qu'avec une machine ordinaire à vapeur. Cependant, par l'intervention d'une pile, les expériences précitées font voir qu'on peut augmenter sans danger jusqu'à cinq ou six fois l'intensité de la lumière avec seulement une dépense double du courant. En tenant compte largement de la perte causée par l'intervention de la pile, le rendement de lumière résultant du travail mécanique dépassera du double ce qu'il est avec la machine dynamo-électrique employée directement.

Par les chiffres suivants on peut évaluer approximativement le rendement des diverses espèces de foyers électriques, par rapport au cheval-vapeur comme unité de comparaison.

		Par cheval-vapeur en becs Carcel.
1° Dans le cas de l'arc voltaïque.	Un seul foyer par machine....	90 à 100
	Plusieurs foyers par machine en séries	40 à 70
2° Dans le cas de l'incandescence (sans combustion).	Au moyen du dynamo direct...	15 à 25
	Avec l'intervention de l'accumulateur	30 à 50

Si l'on remarque en outre qu'avec de l'incandescence sans combustion l'effet du courant régulier donné par l'accumulateur sera d'augmenter beaucoup, et probablement de doubler la durée du filament en charbon de ces lampes, on reconnaîtra bien vite que dans ces conditions elles peuvent lutter avantageusement avec les grands foyers à arc voltaïque, surtout lorsque les foyers à l'arc

Digitized by Google

deviennent nombreux et que la manutention se trouve difficile et coûteuse.

De toute manière, l'emploi d'un accumulateur paraît augmenter notablement l'économie de l'incandescence, et cela sans parler des avantages qui résultent de l'emmagasinage du courant.

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. le Dr Boudet de Paris;
- Cavaglione, commissaire de l'Italie à l'Exposition internationale d'Électricité;
- Gody, architecte du département des Travaux publics à Bruxelles (Belgique);
- Van den Kerchove, sénateur, à Gand (Bruxelles);
- Van der Mensbrugghe, professeur de Physique mathématique à l'Université de Gand (Bruxelles);
- Oyens (Gérard), commissaire des Pays-Bas à l'Exposition internationale d'Électricité;
- Parmentier, à Bruxelles (Belgique);
- Somzée, ingénieur à Bruxelles (Belgique);
- Tommasi (Donato), professeur à l'Université de Florence;
- de Voys (A.), commissaire des Pays-Bas à l'Exposition internationale d'Électricité.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi de plusieurs Mémoires de M. Ch. Montigny.

M. Angot a repris, au point de vue pratique, l'étude des formules relatives à l'emploi du psychromètre. Un très grand nombre d'observations (3700 environ), faites à Paris, à Clermont-Ferrand et au sommet du Puy-de-Dôme, ont été réunies par lui et calculées. Il a

Digitized by Google

été conduit à une formule différant de celle de Regnault par l'addition d'un terme; cette formule se traduit par une construction graphique. L'erreur problable sur une série d'observations est de deux à quatre fois plus faible avec les Tables de M. Angot qu'avec les anciennes Tables.

M. Pernet demande si l'emploi du ventilateur introduit quelques différences dans les résultats. M. Angot répond que l'influence du vent est négligeable à côté de celle qui provient du plus ou moins de sécheresse de l'air.

M. Mallard expose les recherehes qu'il a faites avec M. Le Chatelier sur l'inflammation des mélanges gazeux. Ils ont étudié d'abord les températures d'inflammation. Un mélange d'oxygène et d'hydrogène fait explosion vers 560°; avec un mélange d'oxygène et d'oxyde de carbone, la combustion se produit lentement, à des températures inférieures à la température d'explosion. Le mélange d'air et de grisou détone à 730°, mais seulement au bout de plusieurs secondes.

Les vitesses de propagation dans un tube rempli d'un mélange explosif sont très variables avec la disposition adoptée, suivant que l'inflammation se propage dans un tube ouvert ou part de l'extrémité fermée d'un tube.

Pour les températures de combustion, MM. Mallard et Le Chatelier ont d'abord employé un réservoir dont la soupape s'ouvrait pour une pression déterminée, puis un réservoir communiquant avec un manomètre métallique dont les indications s'inscrivent sur un cylindre tournant. Les courbes obtenues permettent d'étudier la loi du refroidissement pour de hautes températures.

M. Mallard montre également comment de l'étude de ces courbes on peut déduire les variations de la chaleur spécifique des gaz avee la température, lorsqu'on connaît la chaleur spécifique de l'acide carbonique; la chaleur spécifique augmente avec la température et à peu près de la même manière pour tous les gaz.

Digitized by Google

Études sur le psychromètre; par M. Alfred Angot.

L'idée d'évaluer l'humidité atmosphérique par la différence des indications d'un thermomètre ordinaire et d'un thermomètre dont le réservoir est mouillé est très ancienne. Elle a été émise notamment par Leslie (1790?), Hutton (1792), Gay-Lussac et Ivory (1822); mais c'est seulement August (1828) qui établit *a priori* l'équation du problème et donna une relation qui permit de calculer la force élastique de la vapeur d'eau atmosphérique au moyen des indications des thermomètres sec et mouillé.

Dans son premier travail sur l'hygrométrie (1845), Regnault reprit en détail l'étude du psychromètre, et, en remplaçant dans la formule d'August certaines constantes physiques qui y figurent par les valeurs qu'il venait de déterminer lui-même, il obtint la formule

$$x = f' - \frac{0{,}429\,h(t-t')}{610-t'}, \tag{1}$$

où x désigne la force élastique de la vapeur, t et t' les températures marquées par le thermomètre sec et le thermomètre mouillé, f' la force élastique maximum de la vapeur d'eau correspondant à la température t', et h la pression atmosphérique.

Regnault exécuta de nombreuses séries d'expériences pour vérifier cette formule, en comparant le psychromètre soit avec l'hygromètre chimique, soit avec l'hygromètre condenseur. Il trouva ainsi que la formule ci-dessus donne des forces élastiques x trop fortes. En remplaçant le coefficient 0,429 par 0,480, on aurait une coïncidence presque complète entre les résultats calculés et les résultats trouvés par l'observation directe, dans les fractions de saturation qui dépassent 0,40; mais le coefficient 0,480 produit une différence plus grande que 0,429 et en sens inverse, pour des fractions de saturation plus faibles. Ces différences tiennent du reste à ce que les hypothèses adoptées par August, et d'où il a déduit son équation fondamentale, ne peuvent être considérées comme exactes.

Enfin Regnault indique, mais sans faire d'expériences à ce sujet, que si le thermomètre mouillé descendait au-dessous de 0°, il faudrait simplement remplacer dans la formule (1) le dénominateur $610 - t'$ par $689 - t'$.

Digitized by Google

Ces premiers résultats de Regnault ont servi de point de départ à Haeghens pour le calcul de ses Tables psychrométriques, publiées en 1848 ([1]) et qui sont encore employées par presque tous les météorologistes. Ces Tables, qui donnent à vue la tension de vapeur et l'humidité relative, sont construites en effet sur la formule (1), en y remplaçant le coefficient 0,429 par 0,480, comme Regnault l'avait indiqué.

Dans son deuxième Mémoire sur l'hygrométrie (1853), Regnault revient avec plus de détails sur le psychromètre. Tout d'abord il montre que la formule du psychromètre peut se réduire approximativement à

$$x = f' - Ah(t - t'), \tag{2}$$

dans laquelle A est un coefficient constant dont la valeur théorique serait 0,000635. Regnault a cherché alors à déterminer A de manière que les données du psychromètre fussent aussi concordantes que possible avec celles de l'hygromètre chimique ou de l'hygromètre à condensation.

On connaît les conclusions de ce travail : la valeur de la constante A, déterminée empiriquement, est toujours supérieure à la valeur théorique 0,000635 ; elle dépend essentiellement de l'exposition du psychromètre et, dans les expériences, a varié de 0,00074 à 0,00128.

Les expériences de Regnault mirent ainsi hors de doute l'insuffisance des anciennes Tables psychrométriques, telles que celles d'Haeghens, et démontrèrent la nécessité de calculer des Tables nouvelles avec des formules empiriques dont les constantes fussent déterminées dans les conditions mêmes où devait fonctionner l'instrument. Cependant ce travail ne fut pas entrepris, et l'on continue encore aujourd'hui à se servir des Tables anciennes. L'attention des météorologistes se porta, d'un autre côté, sur l'influence exercée par le vent dans la mesure de l'humidité et sur le moyen de remédier à cette nouvelle cause d'erreur. Ces recherches conduisirent au psychromètre-fronde et au psychromètre à ventilateur ([2]).

([1]) *Annuaire météorologique de la France* pour 1849.
([2]) Voir *Journal de Physique*, t. X, p. 112 ; 1881.

Digitized by Google

Dans les stations météorologiques françaises, le psychromètre est disposé, sous l'abri réglementaire à double toit, à 2^m environ au-dessus d'un sol gazonné. Les conditions sont donc partout suffisamment semblables pour qu'une même formule convienne à tous les instruments ; c'est cette formule que je me suis proposé de déterminer, d'une manière absolument empirique, d'après les résultats d'un nombre considérable de comparaisons du psychromètre et de l'hygromètre condenseur. Ce dernier instrument a toujours été employé sous la forme si commode que lui a donnée M. Alluard.

Les données qui ont servi à l'établissement de la formule nouvelle et des Tables qui en dérivent sont :

1° Pour les températures du thermomètre mouillé supérieures à zéro : 3388 comparaisons du psychromètre et de l'hygromètre condenseur effectuées soit à Paris, dans le jardin du Bureau central météorologique (altitude 40^m), soit à l'Observatoire du Puy-de-Dôme, station de la plaine (altitude 390^m), soit à l'Observatoire du Puy-de-Dôme, station du sommet (altitude 1470^m);

2° Pour les températures du thermomètre mouillé inférieures à zéro : 282 comparaisons obtenues aux deux stations de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.

On disposait donc en résumé de 3670 comparaisons du psychromètre et de l'hygromètre condenseur, dans lesquelles la température du thermomètre mouillé a varié de $-20°,5$ à $+23°,6$, et la différence des deux thermomètres s'est élevée jusqu'à 16°.

La recherche de la formule empirique qui satisfait le mieux à l'ensemble de ces comparaisons a été conduite de la manière suivante.

On est parti d'abord de la formule (2) du second Mémoire de Regnault, où l'on connaît x par l'observation de l'hygromètre condenseur, f', t et t' par celle du psychromètre. On a calculé pour chacune des comparaisons individuellement le quotient

$$A = \frac{f' - x}{h(t - t')},$$

qui aurait été constant si la formule (2) avait été applicable.

On a ensuite rangé toutes les valeurs de A en séries dans chacune desquelles, pour chaque station, t' était compris entre 0° et

Digitized by Google

1°, puis entre 1° et 2°, et ainsi de suite, et l'on a ordonné toutes ces séries, où t' et par suite f' pouvaient être considérés comme constants, par rapport aux valeurs croissantes de $t - t'$, en prenant la moyenne de toutes les valeurs de A pour lesquelles $t - t'$ comptait le même nombre entier de degrés.

L'examen de toutes ces séries, sans exception, a montré que la valeur de A décroissait à mesure que $t - t'$ augmentait. Nous citerons seulement, comme exemple, la série suivante :

Puy-de-Dôme (plaine). $t - t'$.	A. $t' = 6°,42$.
0°,53	0,001022
1,43	0,000948
2,41	0,000821
3,40	0,000818
4,40	0,000792
6,77	0,000705

On a obtenu 8 séries analogues pour Paris, 23 pour la station inférieure du Puy-de-Dôme, et 5 pour la station supérieure, soit en tout 36 séries pour $t' > 0$ et 22 séries pour $t' < 0$.

La valeur de A étant manifestement une fonction de $t - t'$, on a trouvé qu'elle pouvait être représentée par l'expression

$$A = a + b(t - t'),$$

et les valeurs de a et de b ont été déterminées, pour chaque série isolément, par la méthode de Cauchy, en attribuant aux équations un poids égal au nombre d'observations dont sont conclues les valeurs de A et de $t - t'$.

Les 36 valeurs de b ainsi obtenues ne présentent aucune variation régulière, qu'on les ordonne par rapport à $t - t'$, à t' ou à h. On a donc supposé que b était constant, et l'on a trouvé

$$b = -0,000028.$$

Quant aux valeurs de a, on reconnaît immédiatement qu'elles augmentent quand t' (ou f') augmente, et quand h diminue, et on a pu les représenter par l'équation

$$a = 0,000776 + 0,0159\frac{f'}{h}.$$

Digitized by Google

La formule psychrométrique définitive pour des températures supérieures à 0° est donc

$$\frac{f'-x}{h(t-t')} = 0,000776 + 0,0159\frac{f'}{h} - 0,000028(t-t'),$$

ou

$$(3)\quad x = f'[1-0,0159(t-t')] - 0,000776h(t-t')[1-0,0361(t-t')].$$

On aurait de même, pour les températures t' inférieures à zéro,

$$(4)\quad x = f'[1-0,059(t-t')] - 0,000682h(t-t')[1-0,0411(t-t')].$$

Dans le Mémoire complet ([1]), on trouvera des Tables diverses construites sur les formules précédentes et qui donnent à vue soit l'humidité relative, soit la tension de vapeur, soit le poids de la vapeur contenue dans un litre d'air, pour toutes les valeurs de t, t' et h.

Nous reproduisons seulement ici un abaque graphique (*Pl. I*) qui permet de trouver à vue l'humidité relative; on détermine le point d'intersection de la verticale qui correspond à la température du thermomètre mouillé t', et de l'horizontale qui correspond à la différence $t - t'$ des deux thermomètres. Ce point tombe entre deux des courbes qui représentent une égale humidité relative, exprimée en centièmes. Comme ces courbes sont tracées de deux en deux unités pour $t' > 0$ et de cinq en cinq unités pour $t' < 0$, on a facilement à vue le chiffre des centièmes de l'humidité relative.

Exemple : $t' = 9°$; $t - t' = 8°,5$; le point correspondant est compris entre les courbes 26 et 28 et à peu près à égale distance; l'humidité relative est donc 27, et la fraction de saturation 0,27.

Les Tables sont calculées pour une pression moyenne de 750^{mm}; la correction de pression, calculée pour une différence de pression $\Delta h = 100^{mm}$, est donnée par un petit tableau placé dans un angle de l'abaque; cette correction est additive pour des pressions plus faibles que 750^{mm} et inversement; elle est de plus proportionnelle à la variation de pression. Dans l'exemple numérique cité plus haut, si la pression avait été, par exemple, de 700^{mm} au lieu de 750,

([1]) *Annales du Bureau central météorologique*, t. I; 1880.

Digitized by Google

le tableau de correction d'altitude aurait, pour $t' = 9°$, $t - t' = 8°,5$ et $\Delta h = 100^{mm}$, donné une correction un peu supérieure à $+ 3$, ce qui, pour $\Delta h = 50$ seulement, fait une correction de $+ 2$; l'humidité relative vraie, corrigée de la variation du baromètre, serait donc de 29.

Un dernier point est de savoir quel degré d'approximation on peut attendre de ces Tables.

En calculant, soit par des Tables d'Haeghens, soit par les Tables nouvelles, l'humidité relative pour 90 observations effectuées à Paris, on a trouvé que l'erreur moyenne pour l'humidité relative, estimée en centièmes, était $+ 1,1$ avec les Tables anciennes, et seulement $- 0,5$ avec les nouvelles; en même temps les écarts extrêmes sont notablement moindres avec les Tables nouvelles. En calculant de même une série de 91 expériences effectuées en Italie par M. Chistoni, on trouve des erreurs moyennes respectives de $+ 2,5$ (Tables d'Haeghens) et $+ 0,5$ (Tables nouvelles). Pour les températures au-dessous de zéro, on a calculé encore la série effectuée par Regnault et rapportée dans son second Mémoire; tandis que la formule de Regnault ne représente les observations qu'avec une erreur moyenne de $+ 3,4$, la formule (4) donne seulement une erreur de $+ 0,7$.

En résumé, les formules nouvelles paraissent donner, pour des psychromètres installés dans les conditions que nous avons rappelées en commençant, des résultats notablement meilleurs que ceux que l'on obtient avec les Tables actuellement en usage. Pour les températures au-dessus de zéro, l'erreur probable d'une détermination isolée est d'environ ± 2 unités sur le chiffre de l'humidité relative, et l'erreur absolue moyenne d'une série contenant au moins 20 ou 30 observations tombe au-dessous de 0,5. Pour les températures au-dessous de zéro, il faudrait probablement doubler ces nombres. De plus, la différence avec les Tables anciennes est surtout marquée pour les humidités très faibles que l'on rencontre dans les pays chauds et secs. Avec les Tables nouvelles on aura toujours pour ces régions des résultats au moins admissibles, tandis qu'il serait possible de citer des exemples où le calcul par les Tables anciennes conduirait pour l'humidité à un nombre négatif.

Digitized by Google

Étude sur la combustion des mélanges gazeux explosifs; par MM. Mallard et Le Chatelier.

I. — Températures d'inflammation.

Nous avons employé, pour mesurer les températures d'inflammation, un pyromètre en porcelaine, chauffé dans un four à gaz Perrot; nous le faisions fonctionner alternativement comme thermomètre à air et comme chambre de combustion. Un robinet en verre à deux voies permettait de le mettre en communication, d'une part, avec une machine pneumatique; d'autre part, avec des tubes mesureurs remplis soit d'air, soit du mélange gazeux expérimenté.

Pour mesurer la température du pyromètre, on y faisait le vide, puis on le laissait se remplir d'air, en mesurant le volume qui y rentrait ainsi. La connaissance de ce volume permettait d'obtenir, par un calcul très simple, la température. Cette détermination faite, on faisait de nouveau le vide et on laissait rentrer le mélange gazeux, en s'assurant si la combustion se produisait ou non à cette température. On reconnaissait que la combustion s'était produite soit par le bruit de l'explosion, soit par le changement de volume qui accompagne la combinaison de la plupart des gaz entre eux.

On répétait sur un même mélange gazeux un grand nombre d'expériences semblables, à des températures différant l'une de l'autre de quantités aussi petites que possible. On arrivait ainsi à trouver deux températures voisines, l'une supérieure, l'autre inférieure à la température d'inflammation. Les résultats obtenus par ce procédé sont très concordants.

Le tableau suivant donne le résultat de nos expériences :

Hydrogène.	Température d'inflammation comprise entre
1° Hydrogène et oxygène (0,15 O, 0,85 H).................	560° et 570°
» » (0,30 O, 0,70 H).................	552 et 569
» » (0,66 O, 0,70 H).................	530 et 532

Mélange	Température d'inflammation comprise entre
2° Hydrogène et air (0,70 air et 0,30 H ou 0,147 O, 0,30 H, 0,553 Az).......	552° et 553°
» » (0,30 air et 0,70 H ou 0,063 O, 0,70 H, 0,237 Az).......	530 et 570
3° Hydrogène, oxygène et acide carbonique { 0,15 O, 0,35 H, 0,50 CO^2 }....	562 et 492
» » » { 0,21 O, 0,49 H, 0,30 CO^2 }....	560 et 595

Oxyde de carbone.

Mélange	Température
1° Oxyde de carbone et oxygène (0,15 O, 0,85 CO).........	630 et 650
» » (0,30 O, 0,70 CO).........	645 et 650
» » (0,70 O, 0,30 CO).........	650 et 680
2° Oxyde de carbone et air (0,70 air et 0,30 CO ou 0,147 O, 0,30 CO, 0,553 Az).	650 et 657
3° Oxyde de carbone, oxygène et acide carbonique...................... { 0,15 O, 0,35 CO, 0,50 CO^2 }.......	695 et 715
4° Oxyde de carbone, air et acide carbonique { 0,35 air, 0,15 CO, 0,50 CO^2 }....	715 et 725

Formène.

Mélange	Température
Grisou et oxygène (0,70 O, 0,30 C^2H^4).....................	600 et 650
» » (0,30 O, 0,70 C^2H^4).....................	640 et 660

Le résultat le plus saillant de ces expériences est que la température d'inflammation des mélanges tonnants d'hydrogène, d'oxyde de carbone et de formène est peu modifiée par l'addition d'une proportion même considérable de gaz étrangers. Les écarts les plus grands ont été obtenus avec l'addition d'acide carbonique aux mélanges d'oxyde de carbone. L'action de ce gaz sur les mélanges d'hydrogène a été beaucoup plus faible. Ce résultat conduirait donc à supposer que la température d'inflammation d'un mélange gazeux est influencée d'une façon particulière par les produits de sa combustion.

Digitized by Google

II. — Vitesse de propagation de la flamme.

Quand on enflamme un mélange explosif en un de ses points, la flamme se propage avec une vitesse très variable, suivant les circonstances. Les conditions qui paraissent exercer la plus grande influence sur cette vitesse sont la nature et la proportion des gaz entrant dans le mélange, la température et surtout l'agitation mécanique du mélange gazeux. La dernière de ces conditions, n'étant susceptible d'aucune mesure, doit être éliminée ; mais il est impossible d'obtenir ce résultat d'une façon complète.

Nous avons essayé d'aborder cette question au moyen de procédés très différents les uns des autres. Le premier que nous avons essayé, et qui avait déjà été employé par l'un de nous, consiste à faire écouler le mélange gazeux par un orifice en mince paroi, allumer le jet ainsi produit, et en diminuer progressivement la vitesse jusqu'au moment où la flamme rentre par l'orifice. On admet qu'à ce moment il y a égalité entre la vitesse de propagation de la flamme et la vitesse d'écoulement du gaz. Ce mode de procéder ne supprime pas l'agitation du mélange gazeux, mais la maintient toujours identique à elle-même d'un moment à l'autre. On obtient ainsi des résultats très concordants ; mais les conditions de l'expérience ne sont pas suffisamment définies, car on ne peut mesurer cette agitation intérieure du gaz, qui a certainement une influence sur les résultats observés. Cependant, la principale cause d'incertitude vient de ce que la vitesse n'est pas uniforme dans toute la section, qu'elle est moindre sur les bords de l'orifice. Il n'y a donc pas égalité absolue entre la vitesse de propagation et la vitesse moyenne d'écoulement du gaz que l'on détermine directement. Si donc les expériences sont faites dans des conditions comparables et, par suite, donnent des résultats très concordants, il n'est pas prouvé que les chiffres obtenus ne sont pas affectés d'erreurs systématiques considérables.

Nous avons obtenu les résultats suivants avec les mélanges de formène et d'air :

Proportion de formène sur 100 parties d'air.	Vitesse.
8,2	0,27
8,6	0,29

Digitized by Google

Proportion de formène sur 100 parties d'air.	Vitesse.
9,5	0,35
9,9	0,40
11,6	0,58
13,3	0,48
14,2	0,32
15	0,25

Le deuxième procédé que nous avons cherché à appliquer à la mesure des vitesses de propagation, le seul possible pour les mélanges rapides, consiste à introduire le mélange dans un tube fermé à une extrémité, ouvert à l'autre, l'allumer à l'extrémité libre et mesurer le temps que la flamme met à parcourir la longueur du tube.

Enregistrement mécanique de la vitesse de la flamme. — Nous avons obtenu ce résultat en utilisant, pour donner les signaux, la pression même produite par l'explosion des mélanges gazeux. Nous avons fixé deux petites chambres sur la paroi extérieure du tube, et nous les avons fait communiquer, par un tube étroit, avec l'intérieur de celui-ci. Quand la flamme arrive dans le tube, devant un de ces orifices, elle le traverse et pénètre dans la chambre, où elle produit une pression intérieure d'autant plus forte, que la vitesse de propagation est plus grande et l'orifice plus étroit. On utilise cette pression pour actionner un tambour enregistreur Marey. La durée de propagation de l'onde comprimée dans le tube en caoutchouc qui reliait la chambre au tambour était de $\frac{5}{1000}$ de seconde. Les tubes des deux tambours étaient égaux ; on peut, dans ces conditions, compter, dans la mesure des temps, sur une approximation supérieure à $\frac{1}{1000}$ de seconde. Ce procédé ne s'applique pas aux mélanges lents, car on est obligé d'élargir les orifices de communication pour permettre à la flamme de les traverser, et alors la pression est insuffisante pour faire fonctionner les tambours.

Après le procédé d'enregistrement, la seconde difficulté à résoudre était d'éliminer autant que possible les mouvements vibratoires. Nous avons obtenu les meilleurs résultats, ou plutôt les moins mauvais, en prenant un tube de grande longueur et mesurant la vitesse, à l'origine de la combustion, sur la longueur la plus faible possible. Le mouvement vibratoire, en effet, est faible au

Digitized by Google

début de la combustion. Il n'augmente qu'au fur et à mesure de la progression de la flamme ; mais il augmente d'autant moins vite qu'il faut plus de temps aux ondes formées à l'extrémité ouverte du tube pour aller se réfléchir à l'extrémité fermée et revenir.

Nous avons obtenu les résultats suivants, en mesurant la vitesse sur les 50 premiers centimètres d'un tube de 20^{m} de long. Les incertitudes sur ces chiffres ne sont que de 10 pour 100 :

H pour 100 du mélange.	Hydrogène et air.
20	2
25	2,8
30	3,4
35	4,1
40	4,4
50	3,8
60	2,3

Oxyde de carbone et hydrogène.	
CO+O	2,2

H pour 100 du mélange.	Hydrogène et chlore.
75	5

Gaz pour 100 du mélange.	Gaz d'éclairage et air.
12,5	0,83
15	1
17,5	1,16
20	0,9

On voit que, pour les mélanges d'hydrogène et d'air, le maximum de vitesse correspond à la proportion de 40 pour 100 d'hydrogène ; la proportion du mélange tonnant serait d'environ 30 pour 100. Ce résultat est analogue à celui que nous avons déjà observé pour le grisou ; il résulte vraisemblablement de la conductibilité calorifique considérable de l'hydrogène.

Pour les mélanges dont la vitesse est supérieure à 5^{m} par seconde, les résultats ont été complètement discordants. Une nouvelle cause d'agitation vient se joindre aux mouvements vibratoires. La pression motrice nécessaire pour faire écouler les gaz brûlés devient assez importante pour produire, en arrière, une compression de la colonne de gaz non encore brûlée, et la mettre tout entière en mouvement. La vitesse s'accélère très rapidement, à mesure que la flamme avance dans le tube.

III. — Pression produite par la combustion des mélanges gazeux.

L'appareil que nous avons employé pour cette deuxième série d'expériences se compose essentiellement d'une *chambre de combustion* et d'un *manomètre enregistreur*.

La chambre de combustion est formée par un cylindre en fer de

Digitized by Google

4^{lit} de capacité, dont le diamètre égale la hauteur ; l'inflammation est centrale.

Le manomètre enregistreur que nous avons employé est dû à M. Bourdon. Il consiste en un tube en laiton de section elliptique, tordu en forme de vis autour de son axe. Une aiguille, soudée perpendiculairement à l'axe de l'instrument, inscrivait ses déplacements sur un cylindre tournant avec une vitesse de 1^{m} par seconde.

Au moment de l'explosion, le manomètre était lancé avec une grande vitesse, et prenait un mouvement vibratoire très intense, qui s'éteignait ensuite graduellement. Pour diminuer l'amplitude de ces oscillations, on a rempli le corps du manomètre et le bas du cylindre d'eau, et en étranglant plus ou moins, au moyen d'un robinet, la communication de ces deux parties de l'appareil, on réglait le robinet de façon que l'amplitude maxima des oscillations ne dépassât pas 0^{mm},5. On dessinait après coup les courbes tangentes aux deux sommets de ces oscillations, et on mesurait leurs ordonnées moyennes.

La graduation du manomètre fut faite, à différentes reprises, par comparaison avec un manomètre à mercure à air libre, formé par un tube en acier flexible de 2^{mm} de diamètre intérieur.

Vitesse de refroidissement. — Les courbes enregistrées sur notre cylindre tournant nous permettaient de déterminer immédiatement la loi des refroidissements des gaz depuis la température de combustion jusqu'à la température ambiante.

Nous avons trouvé, pour les gaz permanents, que, depuis 2700° jusque vers 600°, la variation de pression à chaque instant est exactement proportionnelle au carré de l'excès de la pression actuelle sur la pression finale

$$-\frac{d\varpi}{dt} = l(\varpi - \varpi_0)^2;$$

k est une constante dépendant de la densité des gaz; elle est proportionnelle à une puissance fractionnaire de la pression finale

$$l = l'(\varpi - \varpi_0)^{-1,75}.$$

Pour les températures inférieures à 600°, la loi du refroidissement se modifie progressivement; la vitesse devient proportion-

Digitized by Google

nelle à des puissances de moins en moins grandes de l'excès de pression. Ce résultat est d'accord avec les expériences antérieurement faites. MM. Witz, Jamin et Richard avaient trouvé des exposants compris entre 1,1 et 1,3 pour les températures inférieures à 200°.

L'acide carbonique donne, entre 600 et 1800°, la même loi que les gaz permanents; le coefficient de refroidissement l' seul est différent.

Au-dessus de 1800° jusqu'à 3000°, la loi du refroidissement est toute différente ; la variation de pression est simplement proportionnelle à la première puissance des excès de pression

$$-\frac{d\varpi}{dt} = l''(\varpi - \varpi_0).$$

La chute de pression est beaucoup moins brusque qu'elle ne le serait pour la loi des carrés se prolongeant jusqu'à 3000°.

Ces différences accusent bien nettement l'existence d'une dissociation commençant vers 1800°. Le ralentissement de la chute de pression provient des quantités de chaleur cédées progressivement au mélange gazeux par la combinaison de la fraction dissociée.

Pour la vapeur d'eau, la loi du refroidissement est, à toute température, différente de celle des gaz permanents et de l'acide carbonique. La variation de pression est proportionnelle, depuis 3000° jusqu'à la température ambiante, à l'excès de la pression actuelle de la vapeur d'eau sur la tension de vapeur de l'eau à la température de l'enceinte

$$-\frac{d\varpi}{dt} = 0,378 . \varpi_0^{-0,76}(\varpi - p_0);$$

ϖ est la pression absolue de la vapeur à un moment quelconque, p est la tension de la vapeur à la température de l'enceinte, ϖ_0 est la pression qu'aurait la vapeur d'eau à la température de l'enceinte si elle conservait l'état gazeux. Toutes ces pressions sont exprimées en mètres de mercure. La chute de pression est extrêmement rapide, car dans notre cylindre, dont le diamètre et la hauteur sont de $0^m,17$, la pression tombait, en un quart de seconde, de 5^m de mercure à la pression atmosphérique.

La continuité de la même loi, depuis 3000° jusqu'à la tempéra-

Digitized by Google

ture ambiante, semble indiquer que la condensation de l'eau sur les parois commence à se produire aux températures les plus élevées, et que la vapeur d'eau n'éprouve pas de dissociation notable, même à 3000°.

Quand la vapeur d'eau est mêlée à des gaz permanents dont la présence s'oppose à la condensation, la loi de refroidissement se rapproche peu à peu de celle de ces gaz. On retombe sur la loi du carré des excès de pression quand, à 1^{vol} de vapeur, on ajoute 2^{vol} d'oxygène ou 3^{vol} d'hydrogène.

La connaissance de la loi des chutes de pression permet de calculer, quand il n'y a ni condensation, ni dissociation, la loi des chutes de température, c'est-à-dire la loi du refroidissement proprement dite. On trouve ainsi, pour les gaz non condensables à la température de l'enceinte,

$$-\frac{d\theta}{dt}\; k\varpi_0^{-0,76}(\theta - \theta_0)^2.$$

Ces formules ne s'appliquent qu'au-dessus de 600°; on peut, en ajoutant un terme du premier degré $(\theta - \theta_0)$, représenter nos expériences jusque vers 100°. Nous avons trouvé ainsi la formule suivante pour l'acide carbonique

$$-\frac{d\theta}{dt} = 0,000034.\varpi_0^{-0,75}[(\theta - \theta_0)^2 + 200(\theta - \theta_0)].$$

Ces formules donnent, aux températures inférieures à 100°, des résultats un peu différents de ceux que donnent les expériences de M. Witz; mais on pourrait les mettre d'accord au moyen d'un troisième terme correctif [1].

Pression et température de combustion. — Les courbes de notre manomètre enregistreur ne donnent pas immédiatement la pression que produirait la combustion si l'on pouvait éviter toutes les pertes de chaleur, pression qui seule est intéressante à connaître. L'ordonnée maxima des courbes a déjà été influencée par le refroidissement pendant le temps que la combustion met à se pro-

---

[1] Nous rappellerons que ces expériences n'avaient pas été spécialement entreprises en vue d'étudier les lois du refroidissement; il eût été préférable, en effet, de ne pas employer un cylindre dont les parois étaient humides.

Digitized by Google

pager dans tout le cylindre, et pendant le temps que le manomètre emploie à se mettre en équilibre de pression avec l'intérieur du cylindre. Il y a donc une double correction à faire subir à la pression maxima donnée par les courbes. Nous avons admis qu'en prenant, pour la loi des pertes de pression, celle qu'on observe après la fin de la combustion pendant la durée du refroidissement, nous ferions une correction trop forte. D'autre part, l'ordonnée maxima de nos courbes donnant certainement une pression trop faible, nous avions deux limites extrêmes de la quantité que nous cherchions ; en prenant la moyenne de ces deux limites, nous avions la chance de nous écarter le moins possible de la valeur exacte.

Connaissant ainsi la pression due à la combustion, et admettant qu'aux températures élevées le coefficient de dilatation de tous les gaz est le même, on peut facilement calculer la température de combustion.

On a, en effet, par définition,

$$\frac{T}{T_0} = \frac{\varpi}{\varpi_0}.$$

Lorsque les gaz sont dissociables, on ne connaît plus ϖ_0, et, par suite, le calcul basé sur le ϖ_0 final, observé par refroidissement, ne donne plus rien.

Le tableau suivant donne les pressions et les températures déduites de nos expériences ; deux colonnes spéciales donnent les demi-écarts des limites extrêmes. Les points d'interrogation indiquent les températures que nous considérons comme inexactes, du fait de la dissociation :

Chaleurs spécifiques. — La connaissance des températures de combustion permet de calculer les chaleurs spécifiques moyennes à volume constant au moyen de la formule

$$Q = (me + m'e' + \ldots)(\theta - \theta_0),$$

en limitant, bien entendu, ce calcul aux températures pour lesquelles il n'y a pas de dissociation.

La première conséquence qui se déduit d'une façon évidente de nos expériences est que les chaleurs spécifiques des gaz permanents : hydrogène, oxygène, azote, oxyde de carbone, égales entre elles à la température ordinaire, sont encore égales entre elles à 2000°.

Digitized by Google

		PROPORTION du mélange tonnant.	GAZ EN EXCÈS						$\frac{p}{h}$.	ERREUR possible.	TEMPÉRATURE.	ERREUR possible.
			H.	CO.	O.	Az.	CO².	HO.				
1	Oxyde de carbone.	0,375					0,605	0,027			2025	
2		0,35					0,63	0,02	6,8		1880	± 70
3		0,32			0,02		0,64	0,01	6,2	±0,3	1680	±100
4		0,313			0,02		0,66	0,01	6		1600	
5		0,432				0,55		0,018			2270	± 50
6		0,318				0,67		0,012			1900	
7		0,94				0,045		0,015	8,6		3350?	
8	Hydrogène.	0,67			0,323			0,007	8,3	±0,55	2740	±200
9		0,65	0,34					0,011	8,1	±0,45	2680	±150
10		0,492			0.49			0,018	7,2	±0,4	2190	±100
11		0,492	0,475					0,04			2190	
12		0,43				0,55		0,02			2080	
13		0,322	0,67					0,018	6,3	±0,45	1750	±150
14		0,332				0,652		0,014	6,3	±0,3	1750	±100
15		0,325			0,05	0,605		0,02	6,4	±0,3	1770	±100
16		0,190	0,541			0,253		0,015	5,15	±0,35	1240	±100
17		0,173	0,144			0,690		0,017	5		1140	
18		0,955				0,03		0,015	9,2	±0,2	3200	±100
19	Hydrogène et chlore.	0,74			Cl 0,025			0,01	7,1		1700	
20		0,512	0,472					0,016	7	±0,4	1785	±100
21		0,405	0,585					0,01	6,05		1500	
22		0,95	0,03					0,02	8,1		1975	
23	Cyanogène et air brûlant pour oxyde de carbone...								9	±0,2	2500	±100

En effet, des volumes égaux d'oxyde de carbone, d'oxygène, d'azote, ajoutés au mélange tonnant d'oxyde de carbone, donnent la même température. On a les mêmes résultats pour les mélanges contenant de l'hydrogène.

Acide carbonique. — La température de combustion du mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène permettait de calculer immédiatement la chaleur spécifique de l'acide carbonique, s'il n'y avait pas de dissociation. L'étude de nos courbes de refroidissement montre que la dissociation de l'acide carbonique commence à devenir perceptible vers 1800°, et est encore très faible vers 2000°. Nous estimons qu'à cette température sa valeur ne s'élève pas encore à 5 pour 100. On peut obtenir des températures inférieures à 2000° en ajoutant des quantités convenables d'acide

Digitized by Google

carbonique au mélange tonnant d'oxyde de carbone. La discussion du groupe d'expériences (1), (2) et (3) du tableau précédent nous a conduit à admettre, comme valeur la plus probable de la chaleur spécifique moyenne de l'acide carbonique rapportée au volume moléculaire $22^{lit}, 22$, entre zéro et 2000°, le nombre 13,2.

Vapeur d'eau. — Connaissant la chaleur spécifique de l'acide carbonique, on peut s'en servir pour déterminer celle de la vapeur d'eau à la même température. Il suffit pour cela de comparer les températures de combustion de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone, mêlés chacun avec un excès de gaz permanent tel, que les températures de combustion soient les mêmes. Nous avons trouvé ainsi, en comparant les expériences (6) et (12), le nombre 12,8 pour la chaleur spécifique moléculaire moyenne de la vapeur d'eau à 2000°.

Gaz permanents. — On peut, par le même procédé, déduire la chaleur spécifique des gaz permanents de celle de l'acide carbonique. En comparant les expériences dans lesquelles un même gaz combustible est mêlé soit à un excès d'acide carbonique, soit à un excès de gaz permanent, on trouve, pour la chaleur spécifique moléculaire moyenne des gaz permanents à 2000°, le nombre 7,5.

La chaleur spécifique des gaz permanents augmente donc considérablement avec la température; sa valeur est 5 à zéro. L'accroissement à 2000° serait donc de 2,5, soit 50 pour 100 de sa valeur initiale. Il est vrai que ce nombre, ne se déduisant qu'indirectement de la détermination de deux autres chaleurs spécifiques, présente moins de garanties d'exactitude.

Appareil pour montrer et mesurer en projection et simultanément les plans de polarisation de l'analyseur et de la lame cristallisée; par M. Léon Laurent.

L'appareil est représenté (*fig.* 1) en expérience.

Au point de vue optique, il se compose de deux parties distinctes, mais éclairées *directement* par la même source lumineuse :

1° La partie centrale, qui est formée de lumière *polarisée* sensi-

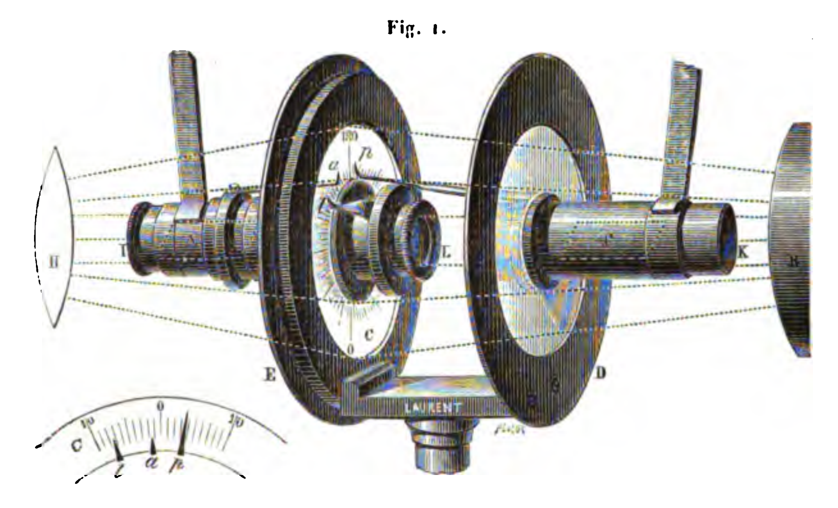
Digitized by Google

blement parallèle et qui reproduit les phénomènes connus de polarisation.

2° La partie extérieure qui est formée de lumière naturelle *divergente;* elle éclaire un espace annulaire de $0^m,10$ de diamètre qui contient la photographie transparente d'un cadran C divisé et chiffré et les 3 index *a*, *p*, *l*; elle est concentrique à la première.

La partie mécanique comprend deux anneaux métalliques D, E

Fig. 1.



fixés en face l'un de l'autre sur un axe horizontal. L'équerre double qui les relie est montée sur une colonne à trépied et à vis calante.

L'anneau D porte une glace transparente ; au centre est fixée une douille dans laquelle tourne un tube P qui porte le nicol polariseur et un index *p*, qui tourne sur le cadran divisé C. Le tube P tourne à la main au moyen d'un levier, qui ne gêne pas en projection.

L'autre plateau E porte une grande lentille plan-convexe C : une douille est également fixée au centre ; d'un côté cette douille porte la bonnette mobile L à index *l*, elle reçoit les différentes lames cristallisées ; de l'autre côté, elle porte un second tube A également mobile au moyen d'un levier et à index *a*; il renferme le nicol analyseur (ou un prisme biréfringent).

Cette lentille C a pour but de faire converger vers le centre de la lentille de projection H le faisceau annulaire divergent qui

Digitized by Google

éclaire le cadran divisé C, et d'achromatiser en même temps le système optique qui sert à le projeter. Concentriquement à la douille, la lentille C porte la photographie transparente annulaire d'un cadran divisé et chiffré, laquelle est éclairée par la lumière divergente qui émane de la bonnette B des lanternes de projections.

Le tube polariseur P contient une lentille convergente K, qui reçoit les rayons divergents de la bonnette B et les rend sensiblement parallèles dans l'intérieur du système PA : elle protège en même temps le nicol.

Le nicol analyseur A porte une lentille divergente I qui sert à ramener *virtuellement* le plan des lames cristallisées L dans celui du cadran C et des index p, a, l; elle protège de même le nicol.

Le tube polariseur P porte un index p (le plus grand) qui frotte sur le cadran C; la bonnette L porte de même un index l (le moyen); il frotte aussi sur le cadran C, mais il est plus court, de sorte que ces deux index tournent sans se toucher et indépendamment l'un de l'autre. Enfin le tube analyseur A porte de même un index a ; il frotte sur l'autre côté du cadran C; de cette façon, aucun de ces trois index ne gêne les deux autres.

La lentille de progression H met au point *en même temps* les lames cristallisées, le cadran et les trois index. A chaque instant on voit les phénomènes de polarisation produits sur l'écran et on peut lire la position de chacun des trois index sur une couronne divisée fixe. On peut donc montrer tous les cas, et faire des mesures dans chacun d'eux. On projette des lames de $0^m,02$ de diamètre ; les nicols sont débordés cylindriquement à $0^m,022$ pour réduire les tubes A et P le plus possible, tout en conservant le maximum de lumière.

L'appareil est simple, facile à manœuvrer et donne la solution générale de la question. Il se place devant les lanternes de projections ordinaires, tout près de B, et fonctionne ainsi soit à la lumière électrique ou Drummond; on rentre un peu les lentilles éclairantes de B, de manière à avoir de la lumière légèrement divergente. Pour projeter, on emploie la lentille courante de projection de $0^m,30$ de foyer H, que l'on place entre l'appareil et l'écran.

L'appareil reçoit, à volonté, en L, des quartz perpendiculaires ou

Digitized by Google

parallèles à l'axe, épais ou minces, ainsi que ma lame $\frac{1}{2}$ onde. J'ai déjà indiqué l'emploi de cette dernière comme le moyen le plus précis de déterminer dans l'espace l'orientation d'un plan de polarisation quelconque [1]; elle sert à placer les goupilles des bonnettes exactement dans la section principale des cristaux. On peut montrer en projection le principe du saccharimètre Soleil, du polarimètre Laurent.

Ces lames sont fixées chacune dans une bonnette qui porte une goupille ; cette dernière entre dans une encoche de L ; de sorte que la direction de leur section principale est réglée d'avance; elle coïncide avec l'index *l*; on n'a pas à tâtonner et il suffit de tourner, soit le polariseur P, soit l'analyseur A, soit la bonnette N pour reproduire tous les cas à étudier.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. GERNEZ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Cazes, préparateur de physique au Lycée Saint-Louis;
Goloubitzky, collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Paris;
Kareis, professeur à Vienne (Autriche);
de Nerville, élève ingénieur des télégraphes, à Paris.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. le Cte Léopold Hugo sur la *Base absolue théorique du système décimal adopté pour les unités électriques* et de plusieurs Mémoires de M. Van der Mensbrugghe.

M. Gariel indique comment on peut résoudre graphiquement certains problèmes se rapportant au groupement des éléments de pile.

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVI, p. 662; 1878.


Digitized by Google

M. Guébhard a étudié les anneaux colorés qui se produisent dans un mélange d'acétates de cuivre et de plomb, sous une feuille mince de métal, placée à égale distance d'aiguilles verticales reliées aux pôles d'une pile de forte tension. Les courbes paraissent coïncider avec les systèmes équipotentiels que donne la formule de Kirchhoff pour une répartition analogue de pôles électriques sur un plan indéfini. La loi subsiste pour des découpures limitées, à condition de donner à la paroi de l'auge la forme rigoureuse d'un cylindre vertical ayant pour directrice le contour.

La vérification paraît justifiée par l'étude des courants de convection que rendent invisibles les transports de bulles gazeuses.

M. Guébhard est parvenu à reproduire les systèmes orthogonaux des précédents, en prenant pour électrodes des lames ayant pour projection horizontale un circuit complet de lignes d'écoulement primitives.

M. Lippmann expose une méthode relative à la détermination de l'ohm. Le courant d'une pile constante traverse la résistance à mesurer et une boussole des tangentes qui donne l'intensité en unités absolues. On a $r = \frac{e}{i}$; pour mesurer e en unités absolues, les deux extrémités de la résistance à mesurer sont en contact avec deux fils sur l'un desquels se trouve un galvanomètre sensible; ces fils viennent toucher les extrémités du fil d'une bobine ouverte, animée d'un mouvement de rotation uniforme, au moment où elle est dans le plan du méridien magnétique.

Si le galvanomètre reste à zéro, la force électromotrice développée par l'induction terrestre sera égale à la différence de potentiel des deux extrémités de la résistance à mesurer.

Discussion graphique de la formule des piles;
par M. C.-M. Gariel.

Il n'est évidemment pas nécessaire d'insister sur l'intérêt qu'il y a dans un grand nombre de circonstances à représenter graphiquement soit une loi donnée par une formule algébrique, soit les résultats numériques d'expériences se rapportant à un phénomène déterminé : les courbes ne fournissent évidemment aucune indica-

Digitized by Google

tion qui ne soit comprise dans la formule, mais bien souvent elles permettent de se rendre plus rapidement compte de l'influence des variations de certaines données ; il en est particulièrement ainsi lorsque la formule contient trois variables, car, en général, au moins, la discussion algébrique est compliquée, tandis que la représentation graphique à l'aide de courbes de niveau de la surface qui correspond à l'équation offre à nos yeux et à notre esprit quelque chose de précis. De plus, dans quelques circonstances, des tableaux graphiques, abaques de divers genres, permettent d'obtenir à simple vue des résultats numériques que la formule ne pourrait fournir que d'une manière moins rapide, considération qui n'est pas sans importance si, comme il arrive souvent, on est conduit par une suite d'expériences à appliquer un grand nombre de fois une formule déterminée.

C'est l'application de cette méthode à une formule fréquemment employée en électricité que nous voulons présenter à nos lecteurs ; la méthode est féconde et peut s'appliquer avec des modifications diverses à nombre de circonstances [1].

Appelons C l'intensité d'un courant, R la résistance du circuit interpolaire, r la résistance d'un élément dont E est la force électromotrice. On sait que, si l'on accouple en *tension* n éléments supposés tous égaux et orientés dans le même sens, l'intensité C_n du courant sera donnée par la formule

$$C_n = \frac{nE}{R + nr}.$$

La discussion de cette formule est compliquée et sa représentation graphique peu aisée, comme on peut aisément le comprendre, parce qu'il y a quatre éléments variables C_n, n, R et r.

Si nous appliquons cette formule générale au cas où, avec le même circuit interpolaire, on emploierait un seul élément, on trouve pour l'intensité C_1 du courant

$$C_1 = \frac{E}{R + r}.$$

[1] Une Note plus détaillée sur ce sujet a été publiée par le journal *l'Électricien*, 15 avril, 1er mai 1881.

Digitized by Google

Le rapport $\frac{C_n}{C_1}$ représente évidemment l'avantage qu'il y a pour un circuit interpolaire donné à employer n éléments au lieu d'un seul. En divisant les deux équations membre à membre, on trouve

$$\frac{C_n}{C_1} = \frac{n(R+r)}{R+nr},$$

valeur dans laquelle E a disparu, comme il était facile de le prévoir, de telle sorte que les résultats à déduire de cette formule seront applicables à des éléments de nature quelconque. Cette équation se prête bien à la discussion, parce qu'elle est homogène par rapport aux quantités R et r et que, par suite, c'est seulement le rapport $\frac{R}{r}$, par exemple, qu'il y a lieu de considérer, la formule pouvant s'écrire

$$\frac{C_n}{C_1} = \frac{n\left(\frac{R}{r}+1\right)}{\frac{R}{r}+n}.$$

Posons

$$y = \frac{C_n}{C_1} \quad \text{et} \quad x = \frac{R}{r};$$

on a alors

$$y = \frac{n(x+1)}{x+n},$$

équation d'un hyperboloïde tel que les trois coordonnées de chacun de ses points représentent les valeurs correspondantes, savoir : pour y, de l'accroissement du courant dû à la multiplicité des éléments ; pour n, du nombre de ces éléments ; et pour x, du rapport de la résistance du circuit interpolaire à la résistance d'un élément.

Il est clair que, d'après la nature du problème physique, les valeurs positives des coordonnées sont seules à considérer ; seule la valeur de u pourrait être prise négativement au numérateur et entraînerait le changement du signe de y ; mais, comme on ne peut admettre de valeur négative de n au dénominateur, on ne peut appliquer à ce cas la même formule.

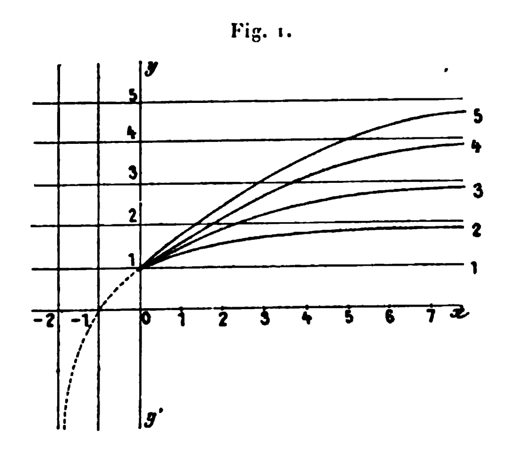
D'autre part, il est évident aussi que les seules valeurs qu'il y ait à considérer pour n sont des valeurs entières.

Imaginons que nous rapportions la surface à trois axes coordon-

Digitized by Google

nés, rectangulaires par exemple, deux axes horizontaux Ox et Oy (*fig.* 1) sur lesquels seront comptées les valeurs de x et de y et un axe vertical suivant lequel on porterait les valeurs de n; et caractérisons la surface par des courbes de niveau correspondant aux valeurs successives de n, savoir 1, 2, 3, ..., courbes que nous pro-

Fig. 1.



jetterons sur le plan des xy. Ces courbes sont faciles à construire : ce sont des hyperboles ayant des asymptotes parallèles aux axes coordonnés et équidistants.

Il est aisé également de comprendre comment on pourrait en faire usage tant pour la résolution de divers problèmes que pour la discussion générale.

Ce tableau graphique pourrait rendre quelques services, mais il présente un certain inconvénient : la construction des courbes, à l'exactitude desquelles est subordonnée l'approximation que l'on peut atteindre. Nous avons pu obvier à cet inconvénient de la manière suivante :

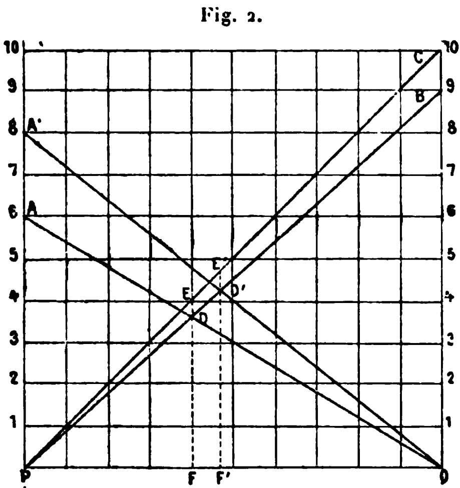
Dans une autre circonstance ([1]), nous nous étions trouvé, pour la discussion de la formule des lentilles, dans des conditions analogues, et il nous avait été possible de remplacer un abaque contenant également des courbes par un autre formé uniquement de lignes droites et présentant la propriété que les valeurs à lire y

([1]) Voir *Association française pour l'avancement des Sciences* (Congrès de Clermont-Ferrand, 1876).

Digitized by Google

sont proportionnelles aux distances à mesurer. Bien que la formule et les courbes ne fussent pas identiques, nous cherchâmes s'il ne serait pas possible de parvenir à une transformation analogue, et c'est en effet ce à quoi nous sommes arrivé. Sans vouloir ici entrer dans le détail, nous décrirons immédiatement l'abaque auquel nous sommes parvenu.

Fig. 2.



Soient deux lignes Pn, Qx (*fig.* 2), perpendiculaires aux extrémités d'une ligne quelconque PQ, et divisées en parties égales : il est utile pour la pratique que des parallèles à PQ soient menées par les points de division; on peut tracer aussi, pour plus de commodité, des lignes parallèles à Px, mais leur écartement est absolument indifférent. Supposons que, connaissant x et n, nous voulions calculer la valeur correspondante de y; on prendra sur Pn, par exemple, un point A tel que $PA = n$ et on le joindra au point Q. D'autre part, on déterminera sur Qx des points B et C correspondant respectivement à x et à $x + 1$ et l'on joindra ces points à P. Soit alors D l'intersection des droites QA et PB, et soit E le point de PC situé sur la même verticale que D : la distance EF de ce point à la ligne PQ, lue sur les lignes horizontales préalablement tracées, mesure la valeur de y.

La considération de triangles semblables montre immédiatement que l'on obtient bien ainsi la valeur trouvée précédemment pour y.

Il est évident que, si l'on veut avoir un tableau dont on veuille se

Digitized by Google

servir couramment, il faudra, au préalable, tracer toutes les lignes rayonnantes partant de P et de Q et aboutissant successivement aux divers points de division des lignes Pn et Qx, comme nous l'avons fait pour notre abaque des lentilles; mais il nous suffisait ici de donner le principe de la méthode.

Sur un abaque où les lignes rayonnantes sont tracées effectivement, les lectures se font très rapidement et elles présentent une assez grande exactitude. On arrive aisément à construire un abaque à tiges ou à fils mobiles qui donnent à simple vue les résultats numériques.

La figure montre également l'influence de la variation de x; plus cette valeur augmente, plus la ligne PB correspondante s'élève et, par suite, plus elle coupe la transversale partant de Q en des points élevés, par conséquent plus la valeur de y est considérable. En un mot, toute la discussion théorique se fait très facilement, comme on peut le voir sans qu'il soit nécessaire d'insister.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer que les considérations précédentes s'appliquent, avec une légère modification, au cas où les n éléments égaux sont montés en quantité.

Ainsi qu'il est aisé de le voir, les mêmes courbes et le même abaque peuvent, en effet, servir, dans le deuxième cas comme dans le premier, à la condition de prendre pour x tantôt la valeur $\frac{r}{R}$ et tantôt au contraire $\frac{R}{r}$.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces tableaux graphiques, qui nous paraissent susceptibles d'être utilisés dans diverses circonstances et dont la construction est simple et rapide.

Nous pouvons donner un second exemple des facilités que présente l'emploi des courbes pour aider à la discussion des formules des piles et arriver à des solutions simples et pratiques.

Soit n un certain nombre d'éléments de force électromotrice E et de résistance r; supposons qu'on les réunisse p à p en batterie et qu'on monte en tension les m groupes ainsi formés. Si nous appelons C_m^p l'intensité du courant produit lorsque le circuit interpolaire a une résistance R, on sait que l'on a

$$C_m^p = \frac{mE}{R + \frac{mr}{p}} = \frac{mpE}{pR + mr},$$

Digitized by Google

formule que l'on peut remplacer par les suivantes, en remarquant que l'on a évidemment $mp = n$,

$$C_m^p = \frac{nE}{pR + mr} = \frac{npE}{p_2 R + nr}.$$

On peut, par les méthodes connues, chercher la condition pour que cette valeur soit maxima ; il est sans intérêt de refaire le calcul et nous pouvons nous borner à signaler le résultat : la condition pour que l'intensité des courants soit maxima, c'est que l'on ait

$$\frac{m}{p} = \frac{R}{r},$$

équation qui, jointe à $mp = n$, permet de trouver immédiatement

$$m = \sqrt{\frac{nR}{r}} \quad \text{et} \quad \sqrt{\frac{nr}{R}}.$$

Cette solution, définitive au point de vue mathématique, est incomplète au point de vue physique, car, pour qu'une solution soit possible, il faut que m et p soient non seulement des nombres entiers, mais aussi des diviseurs de n ; il n'est pas prouvé que la solution pratique qui donnera le maximum réellement réalisable sera celle qui consiste à prendre le groupement pour lequel m et p ont les valeurs les plus voisines de celles que nous venons d'indiquer.

Cherchons à étudier directement la question telle qu'elle se présente.

Pour les raisons indiquées dans l'article précédent, la formule qui donne C_m^p se prête mal à la discussion ; de même aussi, comparons cette intensité à celle d'un courant qui serait produit par un seul élément dans le même circuit interpolaire. Si C_1 est cette intensité, on a

$$C_1 = \frac{R + r}{E},$$

et, en prenant le rapport,

$$C_m^p = \frac{np(R + r)}{p^2 R + nr}.$$

Désignons par y la valeur du rapport $\frac{C_m^p}{C_1}$ qui représente l'avantage qu'il y a à employer le groupement considéré plutôt qu'un

Digitized by Google

élément seul, et par x le rapport $\frac{r}{R}$ qui entre seul, en réalité, dans la formule. On a immédiatement l'équation

$$y = \frac{np(1+x)}{p^2+nx}.$$

Cette équation dans laquelle, pour une valeur donnée de n, il faut supposer variables x, y et p, représente une surface de degré supérieur au deuxième. Mais nous n'avons pas besoin de l'étudier dans son entier. Outre que les seules valeurs positives sont admissibles, il n'y a que les valeurs de p qui correspondent à des nombres entiers diviseurs de n qui nous intéressent : soient $p_1, p_2, p_3, \ldots$ ces valeurs.

Rapportons la surface à trois axes coordonnés Ox, xy et Op, le dernier étant perpendiculaire au plan de la figure. Pour un nombre donné n, nous n'avons en somme qu'à étudier les sections parallèles au plan des xy qui correspondent aux valeurs successives de p, sections qui se projettent en vraie grandeur. Ces diverses courbes sont des hyperboles équilatères ayant leurs asymptotes parallèles aux axes Ox et Oy et définies par les équations

$$x = -\frac{n}{p^2} \quad \text{et} \quad y = p,$$

ainsi qu'on le voit facilement. Les asymptotes parallèles à Oy sont toutes du côté des x négatifs, et dès lors sont peu intéressantes.

Cherchons l'ordonnée à l'origine y_0 de ces courbes, on trouve

$$y_0 = \frac{n}{p}.$$

Sans même chercher d'autres points de la courbe, ces indications nous permettent de résoudre la question que nous nous sommes posée.

Considérons deux groupements déterminés par les valeurs p_1 et p_2 et comparons les courbes correspondantes en supposant, par exemple, $y_1 < p_2$. On voit immédiatement que la courbe 2 coupe l'axe des y au-dessous du point où le coupe la courbe 1, tandis que l'asymptote de la courbe 2 est au-dessus de celle de la courbe 1, de telle sorte que, nécessairement, ces courbes se coupent

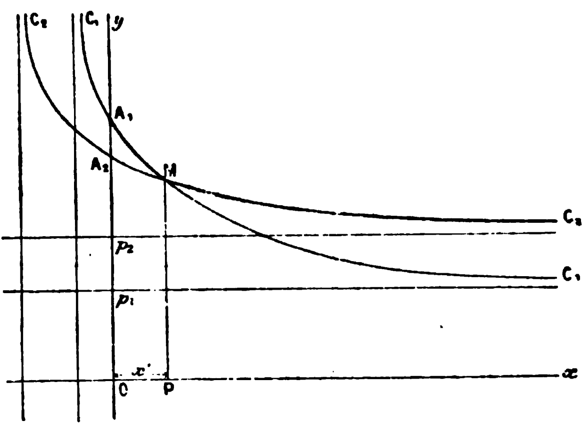
Digitized by Google

pour une certaine valeur positive x' de x. Entre O et x' la courbe 2 est au-dessous de 1, elle passe au-dessus après cette valeur.

Soit M (*fig.* 3) le point d'intersection de ces deux courbes : pour la valeur $x = \mathrm{OP}$, il n'y a aucun intérêt à prendre l'une des combi-



Fig. 3.



naisons plutôt que l'autre, puisque pour cette valeur l'intensité du courant est la même dans les deux cas, mais pour toute autre valeur de x il conviendra de prendre le groupement pour lequel l'ordonnée aura la plus grande valeur. D'après la disposition des courbes, disposition qui est générale, il faudra prendre la courbe C_2, c'est-à-dire celle qui correspond à la plus grande valeur de p, si le rapport x est plus grand que OP. Il faudrait prendre au contraire l'autre groupement si x était plus petit que OP.

Il importe donc de chercher la valeur de x qui correspond à cette intersection; si nous la désignons par $x_{1,2}$, elle sera donnée par l'équation

$$\frac{np_1(1+x)}{p_1^2+nx} = \frac{np_2(1+x)}{p_2^2+nx},$$

d'où l'on déduira

$$x_{1,2} = \frac{h_1 p_2}{n}.$$

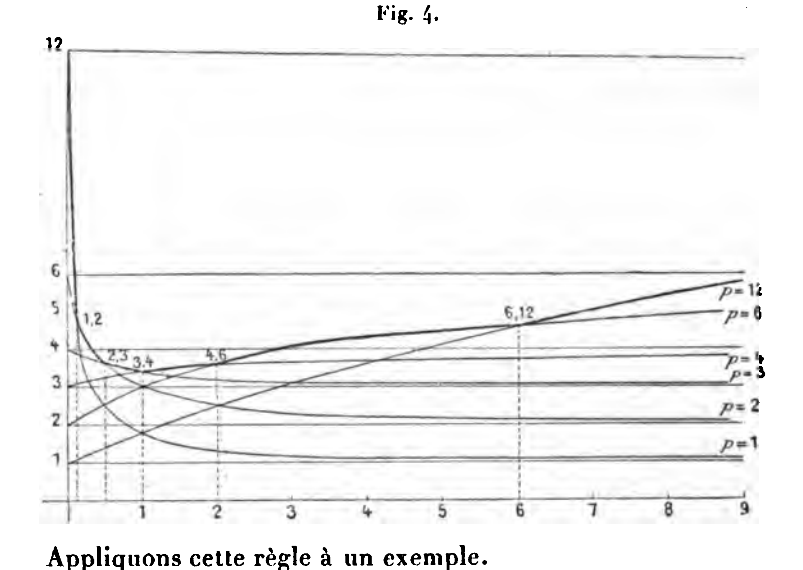
En étudiant ainsi les diverses courbes successives, on voit aisément que la courbe p_1 est au-dessus de toutes les autres pour toutes les valeurs de x moindres que $x_{1,2}$ qui correspond au point

Digitized by Google

d'intersection des courbes 1 et 2 ; puisque, entre ce point et le point défini par $x_{2,3}$, c'est la courbe 2 pour laquelle les ordonnées sont les plus grandes, et ainsi de suite. Comme ce qu'il faut connaître, c'est précisément la valeur de p qui correspond à la plus grande valeur de y, il est facile de voir comment il conviendra d'opérer.

On déterminera successivement les valeurs $x_{1,2}$, $x_{2,3}$, $x_{k-1,k}, \ldots$, les indices correspondant à ceux des nombres $p_1, p_2, p_3, \ldots, p_{k-1}, p_k, \ldots$, qui sont les diviseurs successifs de N, et l'on comparera à ces valeurs la valeur donnée $x = \frac{r}{R}$. Si cette valeur est comprise entre $x_{k-1,k}$ et $x_{k,k+1}$, il faudra prendre le groupement p_k : d'autre part, on sera assuré que la valeur de y correspondante sera comprise entre $y_{k-1,k}$ et $p_{k,k+1}$, ces valeurs étant calculées par la formule indiquée plus haut, et même on ne s'éloignera pas beaucoup de la réalité en faisant une intercalation proportionnelle, car les portions de courbe utilisées s'écartent peu d'être des droites (*fig.* 4).

Fig. 4.



Appliquons cette règle à un exemple.

Soient donnés 12 éléments ($n = 12$); ce nombre a pour diviseurs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12. On a immédiatement

$$x_{1,2} = \frac{1}{6} = 0,167, \quad x_{2,3} = \frac{1}{2} = 0,50, \quad x_{3,4} = 1,$$

$$x_{4,6} = 2, \qquad x_{6,12} = 6.$$

Digitized by Google

Il faudra donc prendre :

Pour les valeurs de $x = \frac{r}{R}$		plus petite que 0,167......	$p = 1$
»	»	comprises entre 0,167 et 0,50	$p = 2$
»	»	» 0,50 et 1...	$p = 3$
»	»	» 1 et 2......	$p = 4$
»	»	» 2 et 6.....	$p = 6$
»	»	plus grand que 6..........	$p = 12$

Sans que nous voulions insister davantage, on voit aisément les avantages que l'on peut tirer de ces remarques dans certains cas; il serait possible, d'ailleurs, d'une étude détaillée de ces courbes représentatives de déduire quelques autres conséquences intéressantes.

Les courbes que nous donnons dans la *fig.* 4 se rapportent au cas de $n = 12$; on voit que l'échelle des x peut n'être pas la même que celle des y. La construction de ces courbes, utiles pour la discussion, n'est en rien nécessaire pour la détermination pratique que nous avons indiquée et pour laquelle nous avons donné ci-dessus la règle générale.

Figuration électrochimique des lignes équipotentielles sur des portions quelconques du plan; par M. Adrien Guébhard.

Il y a plus d'un demi-siècle qu'ont été découverts par Nobili [1] les anneaux colorés qui prennent naissance par électrolyse sur des lames métalliques placées en face des électrodes d'une forte pile. La beauté du phénomène détourna malheureusement toute l'attention, et le point de vue *chromique* devint le seul objet de toutes les recherches ; une tentative de Nobili pour expliquer la « *déformation* (*sic*) des apparences électrochimiques » produites par deux pointes de noms contraires [2] n'eut pas de suite, et l'on recherchа presque exclusivement les brillants effets d'irisation du peroxyde de plomb

---

[1] *Bibliothèque universelle de Genève,* t. XXXIII, p. 302; t. XXXIV, p. 194, t. XXXV, p. 261 (1827).

[2] *Ibid.,* t. XXXVI, p. 1 (1827); t. XXXVII, p. 177 (1828).

Digitized by Google

déposé en couches transparentes sur des lames en communication directe avec le pôle positif. La régularité géométrique de ces anneaux, leur variabilité de forme sous l'influence des électrodes, leur constance absolue par rapport aux données expérimentales, toutes ces propriétés, implicitement reconnues par les artistes habiles qui s'en servaient pour dessiner de magnifiques rosaces, ne

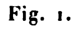
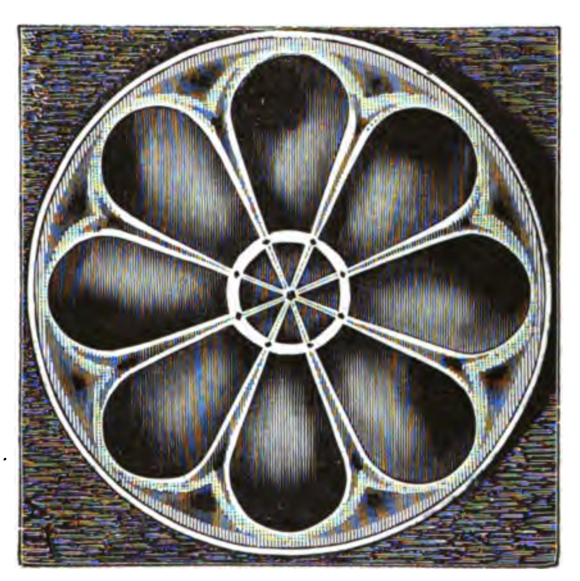


Fig. 1.



Rosace électrochromique de Nobili [1].

firent point songer à la formule d'une loi, car on ne peut appeler de ce nom quelques comparaisons vagues avec les figures acoustiques, quelques presciences lointaines, quelques assimilations mal définies avec la loi, inconnue elle-même, du passage de l'électricité à travers le liquide. Bien plus, aussitôt qu'on voulut avoir des teintes plates et des colorations uniformes [2], ces inévitables anneaux qu'on voyait toujours apparaître, quoi qu'on fît, sur les angles, sur les bords ou sur les saillies, passèrent à l'état de gêne, de contra-

[1] Je dois cette figure à l'obligeance de M. Tissandier, directeur de la *Nature*.
[2] *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XLIV, p. 337; t. XLV, p. 35 (1830).

Digitized by Google

riété, de trouble d'expérience, et Becquerel ([1]), essayant de combattre cette fatalité dans des recherches qui devaient ouvrir la voie à la galvanoplastie, en vint à dire formellement : « Nobili a cherché les anneaux, et moi je les évite. »

Fig. 2.

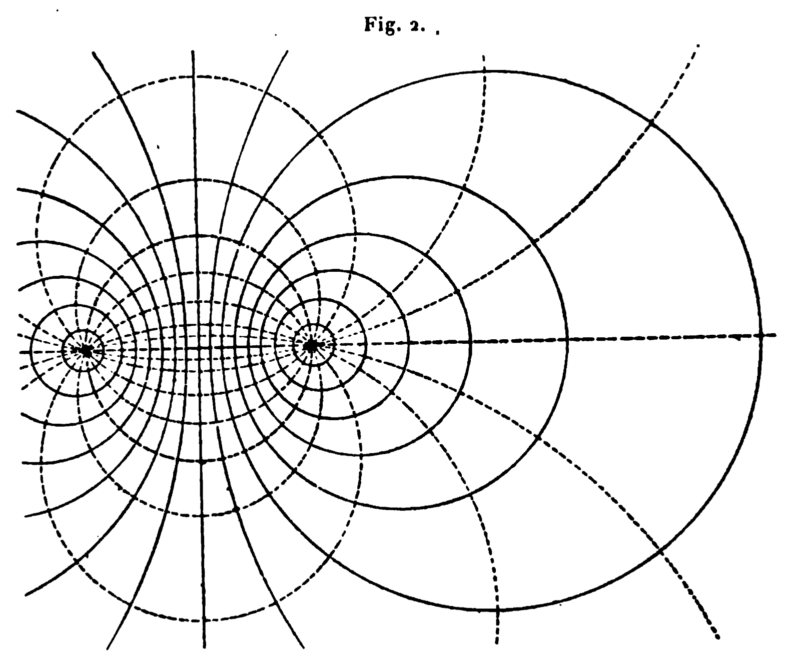


Diagramme des lignes d'écoulement et de niveau pour deux pôles égaux de noms contraires.

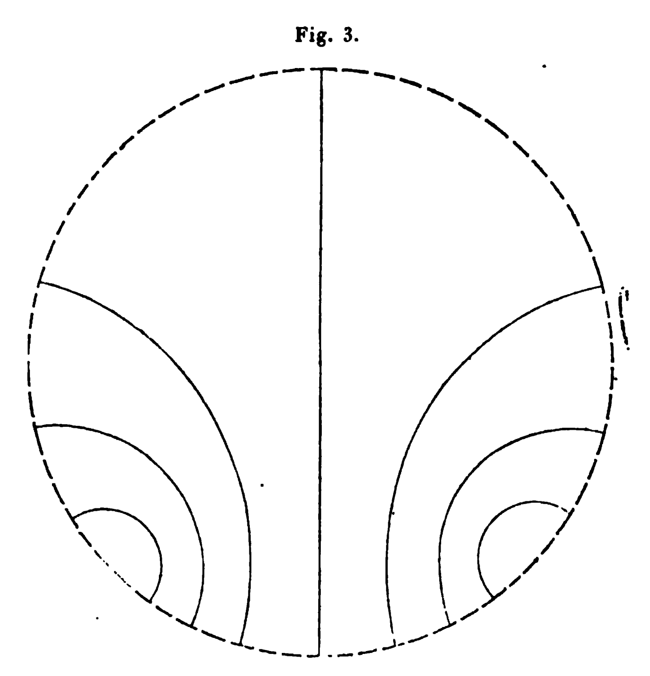
Les théoriciens simplifiaient encore davantage la question : non seulement ils réduisaient l'électrode unique à une demi-sphère idéale de rayon infiniment petit, tandis que Nobili lui-même avait bien vite reconnu l'utilité d'employer les électrodes linéaires qu'on a pu voir dernièrement à l'Exposition rétrospective; mais encore des hypothèses parfaitement gratuites sur la direction des lignes d'écoulement, ainsi que sur l'uniformité de potentiel de la plaque, amenèrent à des expressions très diverses pour la loi des épaisseurs, la seule recherchée, dans le cas élémentaire des anneaux circu-

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XVII, p. 15, 53 (1843); t. XVIII, p. 197, 449 (1844); t. LII, p. 1053 (1861).

Digitized by Google

laires : inutile d'insister sur des vérifications expérimentales qui, ne tenant aucun compte ni de la polarisation lumineuse à la surface métallique, ni de l'indice douteux d'une substance mal définie, parurent justifier indifféremment des formules variant de la puissance simple à la puissance cube (¹).

Fig. 3.



Disque avec électrodes de noms contraires sur les bords.

Avec Wild (²), H. Weber (³), Heine (⁴) et surtout Ditscheiner (⁵), le calcul paraît se rapprocher enfin des données réelles de l'expérience : mais il suffit de voir alors les obstacles s'amonceler devant le cas le plus simplifié pour concevoir l'impuissance de l'analyse et l'inefficacité de spéculations sur les infiniment petits,

---

(1) E. Becquerel, *Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, t. XIII, p. 342 (1845). — Du Bois-Reymond, *Pogg. Ann.*, t. LXXI, p. 71 (1846). — Riemann, *Pogg. Ann.*, t. XCV, p. 130 (1855). — Beetz, *Pogg. Ann.*, t. XCVII, p. 22 (1856).

(2) *N. Denkschr. d. Schweiz. naturforsch. Gesellsch.*, t. XV, nᵒ 7 (1857).

(3) *Borchardt's Journal f. reine u. angew. Math.*, t. LXXV, p. 75 (1873).

(4) *Ibid.*, t. LXXIX, p. 1 (1875).

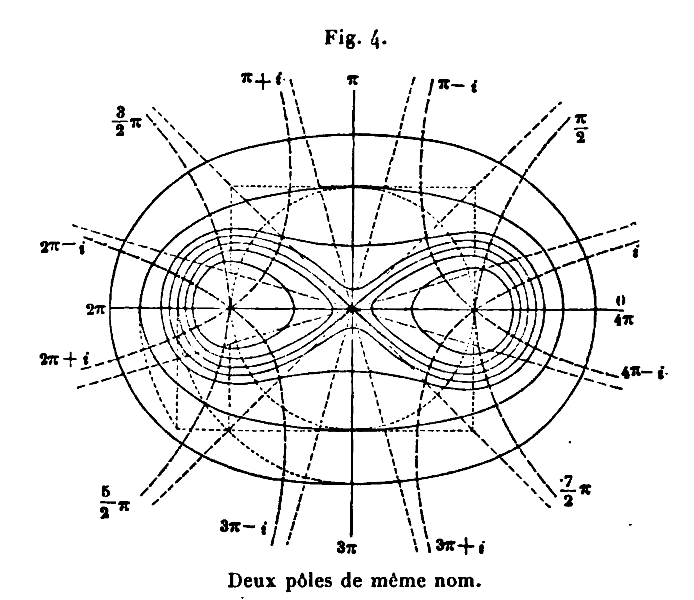
(5) *Sitzungsber. d. Wien. Akad.*, t. LXXVIII, (2), p. 93 (1878).

Digitized by Google

quand il reste à découvrir encore un des plus grands traits de la question.

Pour n'avoir rien d'infinitésimal, la loi de forme qu'il m'a paru intéressant de rechercher et d'établir n'en est pas moins en intime rapport avec la théorie, et si je la formule aujourd'hui, sans attendre les atténuations de détail que lui réserve certainement un contrôle plus minutieux, c'est qu'elle m'a semblé, telle quelle, et par un singulier retour, pouvoir apporter une aide inespérée à la solution sommaire d'une infinité de cas de mathématique physique où toutes les ressources du haut calcul se trouvent en défaut. Voici

Fig. 4.



Deux pôles de même nom.

l'énoncé, purement expérimental, que j'en donne, embrassant tous les cas, à ma connaissance, qui ont été soumis au calcul jusqu'à ce jour :

Lorsqu'on place à petite distance d'une feuille horizontale de métal, exactement limitée aux parois perpendiculaires d'une auge électrolytique, un système cylindrique quelconque d'électrodes verticales, les anneaux colorés qui prennent naissance figurent, avec une très grande approximation, le système théorique de lignes équipotentielles que donnerait l'application

Digitized by Google

directe de ces mêmes électrodes sur un plan conducteur de même contour que la feuille.

Mes premières constatations, pour aller du simple au composé, portèrent uniquement sur des électrodes linéaires, cylindres infiniment petits, ayant pour projections horizontales autant de pôles isolés. La formule de Kirchhoff (¹), vérifiée à diverses reprises par des mesures galvanométriques en dérivation sur des lames minces, solides ou liquides (²) donne alors, sur le plan indéfini, des équations de la forme

$$\frac{r_1 r_2 \ldots r_n}{r'_1 r'_2 \ldots r'_n} = C,$$

toujours faciles à poser, sinon à résoudre. Les lignes d'écoulement sont de la forme $\Sigma\theta_n =$ const., et, comme on a le droit de faire des découpures le long de chacune d'elles sans modifier les lignes de niveau, chaque cas étudié sur le plan infini peut fournir quantité de cas correspondants de surfaces limitées. Mais, lorsqu'il s'agit de contours et de distributions polaires donnés *a priori*, il est en général impossible, à moins de coïncidences fortuites, de résoudre complètement le problème de la répartition électrique : le procédé élégant des *images polaires*, établi par Kirchhoff (³) pour le cas de limites rectilignes, conduit presque toujours à une complication qui vaut une impossibilité. Son extension au cas de limites circulaires (⁴), hyperboliques et lemniscatiques (⁵), ou même tout à fait

(¹) *Pogg. Ann.*, t. LXIV, p. 75 (1845); t. LXVII, p. 344 (1846); *aussi* Poggendorff, *Pogg. Ann.*, t. LXVII, p. 273 (1846). — Smaassen, *ibid.*, t. LXIX, p. 161 (1846); t. LXXII, p. 435 (1847). — Ridolfi, *Cimento*, mai 1847.

(²) Quincke, *Pogg. Ann.*, t. XCVII, p. 382 (1856). — Obermayer, *Sitzb. d. Wien. Akad.*, t. LX, (2), p. 245 (1869). — Domalip, *ibid.*, t. LXVIII, (2), p. 303 (1873). — C. Foster et O. Lodge, *Phil. Mag.*, (4), t. L, p. 475 (1876). — Auerbach, *Wied. Ann.*, t. III, p. 498 (1878), etc., et, par une autre méthode, Mach, *Carl's Repert.*, t. VI, p. 11 (1870).

(³) *Pogg. Ann.*, t. LXIV, p. 497 (1845); *aussi* Thomson, *Cambridge and Dublin math. Journal*, t. III, p. 71 (1849). Jochmann, *Zeitschr. f. Math.*, t. X, p. 48 (1865). Schwedoff, *Pogg. Ergzb.*, t. VI, p. 85 (1874). O. Lodge, *Phil. Mag.* (5), t. II, p. 37 (1876).

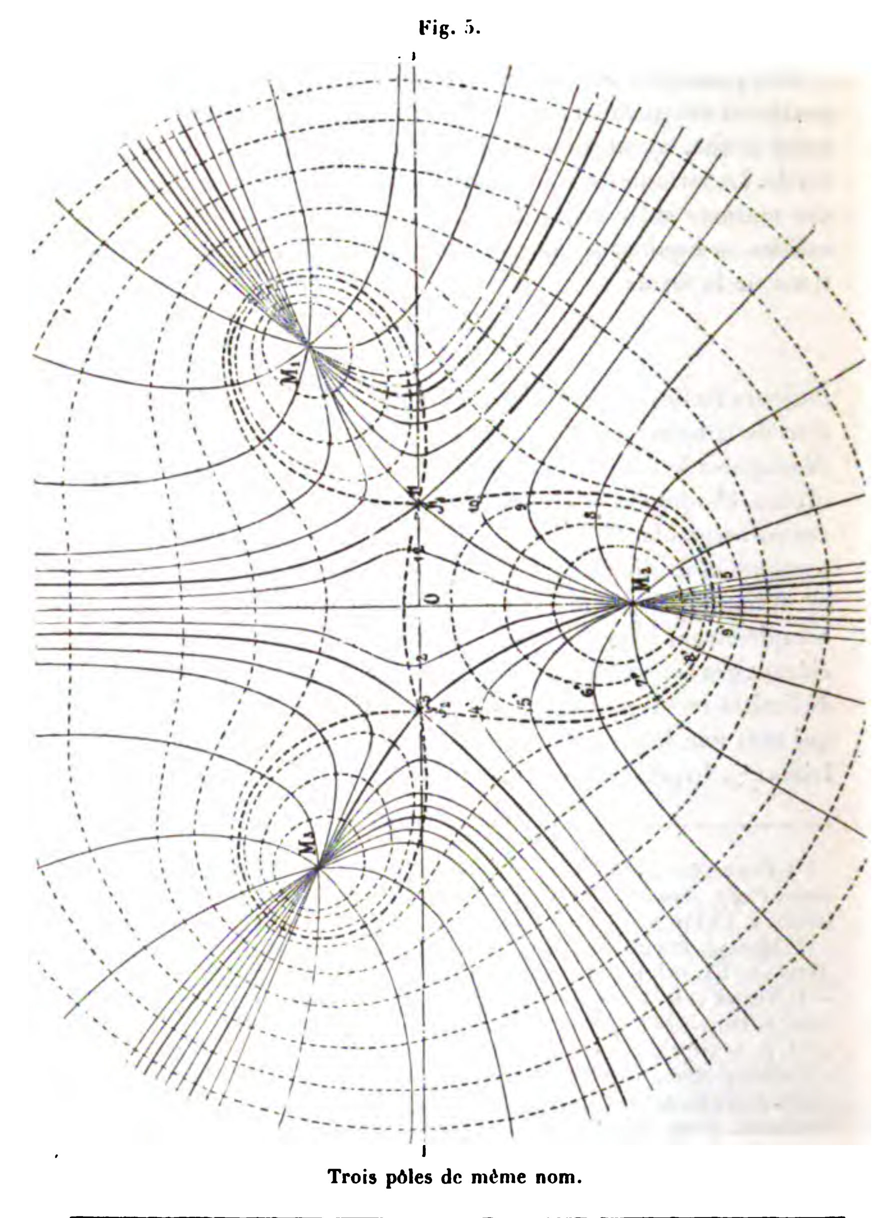
(⁴) R. Smith, *Edimb. R. Soc. Proc.*, t. VII, p. 79 (1870). Adams, *Lond. R. Soc. Proc.*, t. XXIV, p. 1 (1876).

(⁵) Holzmüller, *Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys.*, t. XXI, p. 323. (1875); t. XXVI, p. 246 (1880).

Digitized by Google

générales ([1]) n'est également praticable que dans des circonstances

Fig. 5.



Trois pôles de même nom.

([1]) F. Lucas, *Journal de l'École Polytechnique*, t. XXVIII, p. 4 (1879).

Digitized by Google

très restreintes; et, en dehors de cela, la grande méthode des *représentations conformes* (¹), très précieuse pour étendre à l'espace certaines solutions acquises dans le plan (²), ne peut être qu'un instrument de calcul rapide et sûr, mais sans plus de pouvoir absolu que la formule de Kirchhoff, qu'on retrouve inévitablement au bout de toutes les transformations.

C'est donc en celle-ci que se résument toutes nos ressources, et ce serait presque un aveu d'impuissance, même dans les cas de possibilité théorique, si nous n'avions le précieux recours de la méthode graphique ou des *diagrammes* de M. Bouty (³). Mais encore cette possibilité n'est-elle que l'exception, tandis qu'il suffirait d'étendre à l'inconnu la loi expérimentale que j'ai vérifiée pour tous les faits connus, et tout aussitôt nous trouverions dans les anneaux de Nobili le moyen d'avoir de toutes pièces les *diagrammes* les plus inespérés : plus de limites à nos recherches, plus de difficultés, que d'ordre purement manuel, et l'on va voir qu'elles sont toujours faciles à surmonter.

Avec une matière plastique quelconque, du plâtre comme gros œuvre, de la cire à modeler, de la gutta-percha ou du celluloïd pour les courbures, on peut construire, en profondeur de $0^m,08$ à $0^m,1$, les auges les plus compliquées, avec îlots, s'il le faut, pour correspondre à des lacunes de la surface à étudier.

Celle-ci est découpée avec soin dans une feuille mince de cuivre argenté (*paillon*) de $0^{mm},02$ ou plutôt de fer doux de $0^{mm},15$ (*fer noir* du commerce), et appliquée avec la plus grande précaution sur le fond de l'auge, qu'il est bon de revêtir d'une couche épaisse de cire bien planée pour assurer la parfaite adhérence des bords et leur raccord normal avec la paroi verticale.

La disposition des électrodes est le point délicat de l'expérience. Après avoir essayé, sans avantage marqué, des fils de

---

(¹) Historique très complet dans une thèse de M. H. Amstein. Zurich, 1872.

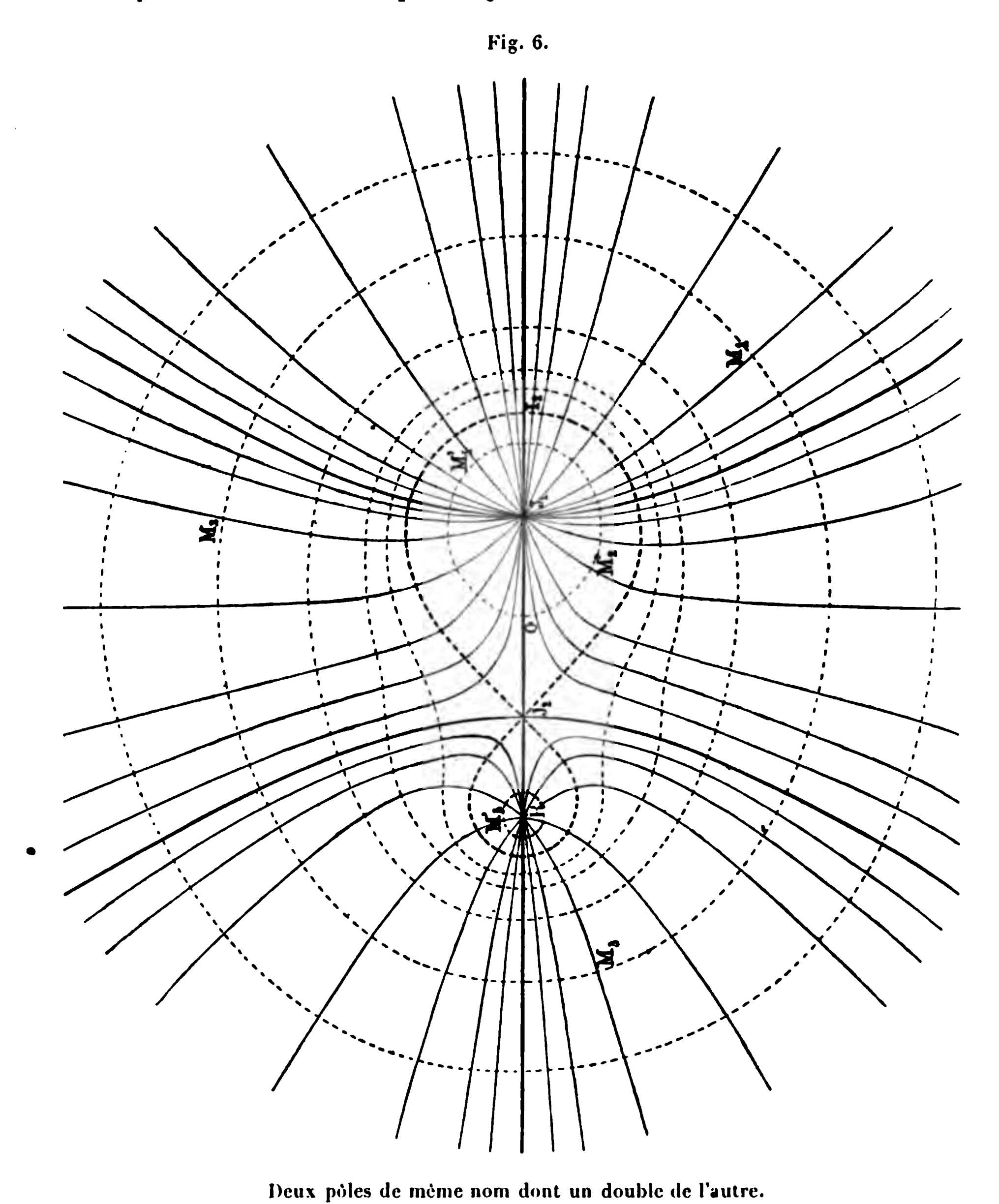
(²) Lipschitz, *Borchardt's Journal,* t. LVIII, p. 152 (1861); t. LXI, p. 1 (1863). Neumann, *ibid.,* t. LXII, p. 36 (1863). Weingarten, *ibid.,* t. LXIII, p. 145 (1864). Boltzmann, *Sitzb. d. Wien. Akad.,* t. LII, (2), p. 214 (1865). Mehler, *Borchardt's Journal,* t. LXVIII, p. 134 (1867). Weber, *ibid.,* t. LXXVI, p. 1 (1873). Kirchhoff, *Monatsb. d. Berl. Akad.,* 1875, 487. Töpler, *Pogg. Ann.,* t. CLX, p. 375 (1877). Frantzen, Thèse d'Utrecht, 1877, etc.

(³) *Journal de Physique,* t. VII, p. 264 (1878).

Digitized by Google

platine, fer, cuivre et plomb, je me suis arrêté finalement à l'em-

Fig. 6.



Deux pôles de même nom dont un double de l'autre.

ploi d'aiguilles d'acier. très longues et fines (dites *aiguilles à*

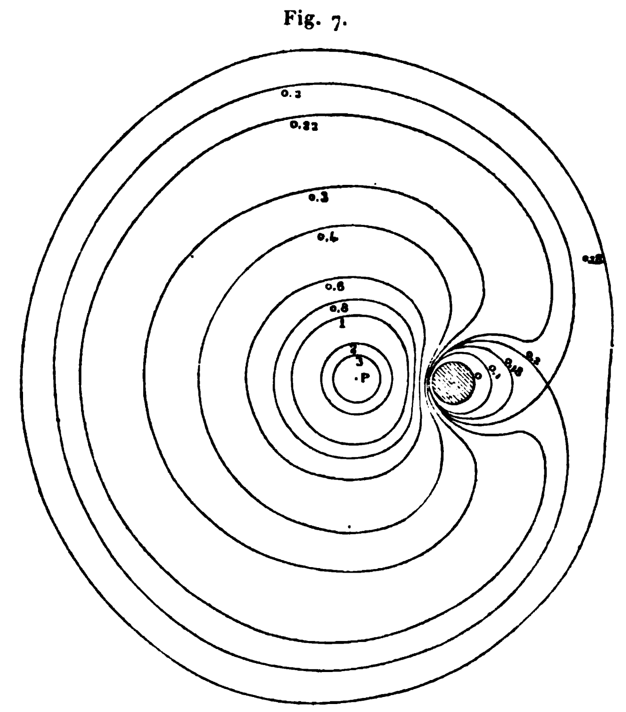
Digitized by Google

perles), dont la rigidité, le poli et la régularité de fabrication constituent les principales qualités. Soit qu'on les réunisse sur des planchettes en petits équipages mobiles, soit qu'on les règle isolément au-dessus de points marqués à l'avance sur la feuille, il faut satisfaire avec la plus grande rigueur aux deux conditions de verticalité et d'équidistance du plan horizontal : on y arrive en se réglant sur les contacts liquides et sur les images réfléchies, mais il y faut apporter beaucoup de soin, car la moindre inclinaison produirait des déformations transversales, et le moindre rapprochement, des diminutions d'importance (¹) de la portion de figure correspondante.



(¹) On peut profiter empiriquement de cette circonstance pour simuler des

Fig. 7.



Plan dont un point et une petite portion circulaire sont maintenus à des potentiels différents.

pôles d'inégales intensités et produire des figures dont la comparaison précise avec

Digitized by Google

Par contre, la répartition du courant entre les électrodes s'opère sans la moindre difficulté, car la résistance extérieure du liquide rend presque toujours négligeables de petites inégalités dans les contacts métalliques.

Comme électrolyte, je m'en suis tenu d'habitude au mélange classique d'acétates de cuivre et de plomb [1], qui donne aux deux pôles de magnifiques anneaux, sans que la composition centésimale paraisse avoir grande importance : il peut être utile cependant de diminuer la proportion du plomb et d'ajouter des traces d'acétate de potasse pour atténuer du côté des électrodes les phénomènes de polarisation et de dépôts métalliques nuisibles à la perfection des couleurs. Dans le même but, j'ai réduit au minimum la surface des éléments de pile employés : de petits bunsen, dont le vase extérieur contient à peine quelques centimètres cubes d'eau acidulée ou salée. Une vingtaine, en série, fournit une chute de

---

les données théoriques permettra sans doute d'établir ultérieurement la loi. La réduction à zéro de la distance d'une électrode, ou le contact avec un point de la plaque ne paraît pas répondre absolument, comme je l'avais cru d'abord, à la suppression du pôle correspondant : cela peut suffire, il est vrai, pour les plus simples des figures équipotentielles relatives au cas théorique où il n'existe que des pôles d'une seule espèce, c'est-à-dire où la formule de Kirchhoff n'a plus de dénominateur : cercles pour un seul pôle, lemniscates pour deux. Mais les lemniscates régulières d'ordre supérieur exigent absolument qu'on substitue à la notion courante de *pôle à l'infini* celle de *cercle polaire*, bien plus conforme, d'ailleurs, aux considérations qui ont servi de point de départ à la formule de Kirchhoff. (Cf. R. SMITH, *Proc. R. S^y. of Edinburgh*, t. VII, p. 79.)

En établissant le contact non plus en un *point*, mais sur une petite portion circulaire du plan par l'intermédiaire d'une tige cylindrique de métal traversant verticalement le liquide, on réalise avec beaucoup de netteté la figure donnée par M. Potier dans le *Journal de Physique*, t. I, p. 219, pour les isothermes d'un plan dont une petite portion est maintenue à une température constante. Une élévation plus ou moins grande de l'électrode libre permet de faire varier les paramètres du système, et il est particulièrement curieux de voir naître et se développer à la surface du cuivre argenté la courbe moyenne à boucle rentrante.

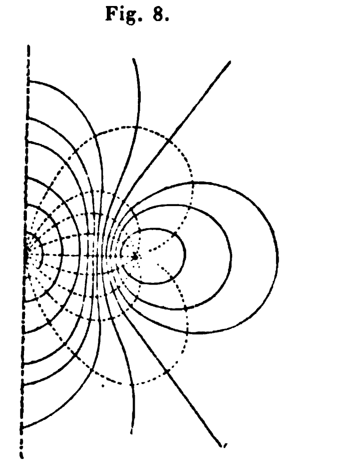
[1] D'autres solutions plus facilement électrolysables seraient certainement employées avec succès : le tartrate double d'antimonyle et de potassium donne, sur fer noir, des courbes très développées et très précises, avec cette particularité que certains renversements du commutateur permettent quelquefois de fixer mécaniquement la trace des courants de *convection*, dont l'étude (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 17 octobre 1881) permet de justifier l'identité de la loi potentielle observée sur nos feuilles, avec celle des tranches cylindriques établie par Lamé, vérifiée par Adams (*loc. cit.*, p. 31) et par Branly (thèse, Paris, 1873, p. 38).

Digitized by Google

potentiel suffisante pour obtenir les grandes figures que je réalise aujourd'hui, tandis qu'une pile au bichromate de six éléments avait fait les frais de toutes mes premières observations.

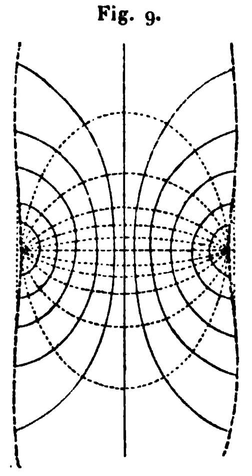
Les diagrammes intercalés dans le texte, les uns calculés spécialement, la plupart tirés d'auteurs divers (¹), représentent, à une

Fig. 8.



Nos 7 et 12 du tableau d'ensemble.

Fig. 9.



Nos 17 et 22 du tableau d'ensemble.

échelle souvent inférieure à celle d'exécution, quelques-unes des figures que j'ai reproduites en anneaux colorés, soit telles quelles, soit doublées ou quadruplées le long de leurs axes de symétrie,

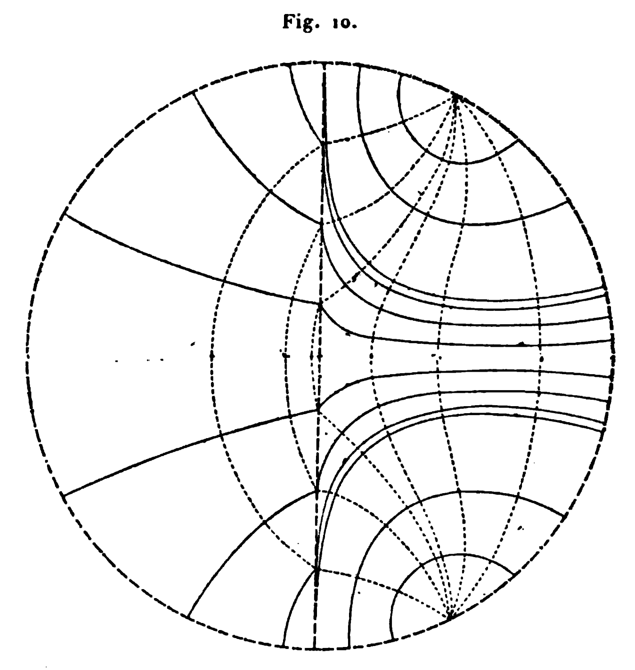
---

(¹) Kirchhoff, *Pogg. Ann.*, t. LXIV, pl. V (1845). Quincke, *ibid.*, t. XCVII, pl. IV (1856). Lamé, *Leçons sur les coordonnées curvilignes*, p. 223 (1859). Haton de la Goupillière, *Journal de l'École Polytechnique*, t. XXII, pl. I (1861). H.-A. Schwarz, *Borchardt's Journal*, t. 70, p. 113 (1869) et *Annali di Matematica* (2), t. III, p. 113 (1870). O. Hentschel, *Zeitschr. f. Math.*, t. XVII, pl. I (1872). R. Smith, *Proc. Ed.*, t. VII, p. 99 (1872). Foster et Lodge, *Phil. Mag.*, (4), t. XLIX, pl. IX et X (1875). Adams, *Proc. Lond.*, t. XXIV, pl. I et II (1876). Holzmuller, *Zeitschr. f. Math.*, t. XVI, pl. II (1871), et t. XXI, 1 pl. (1876). Auerbach, *Wied. Ann.* t. III, pl. III (1878). F. Lucas, *Journal de l'École Polytechnique*, t. XXVIII, épures I-VI (1879). De la Gournerie, *Géom. descript.*, 2ᵉ éd., pl. X, fig. 365 (1880). Holzmuller, *Clebsch's Math. Ann.*, t. XVIII, 4 pl. (1881). Hildebrandt, Thèse de Göttingen, 2 pl. (1881). Guébhard, *Electricien*, t. II, p. 273, 429 (1881). Mascart, *Traité d'Électricité*, t. I, fig. 29, 30, 46 (1882). *Cf.* aussi Matteucci, *Ann. de Chim. et de Phys.*, (3), t. XLIX, pl. II (1857). Zech, *Zeitschr. f. Math.*, t. XII, pl. III (1867). W. Grant, *Phys. Society Lond.*, t. IV, pl. XV-XVII (1881). Quelques-unes de ces figures se trouvent aussi dans Verdet, *Œuvres*, t. IV; *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XC et XCIII; Gordon, *Traité d'Élect. et de Magn.*, t. I.

Digitized by Google

soit, au contraire, découpées le long de quelques lignes d'écoulement, à contour simple ou multiple, extérieur ou intérieur [1]; et sur la plupart des pièces présentées à la Société de Physique, j'ai pu vérifier l'approximation, au millimètre près, avec des anneaux qui tantôt s'étalent en bandes de plusieurs centimètres, et tantôt se resserrent en lignes microscopiques.

Fig. 10.



N° 27 du tableau d'ensemble.

Un cas mérite d'être remarqué, c'est celui d'un plan indéfini [2] ou d'un disque circulaire formé de deux moitiés inégalement conductrices, avec électrodes sur le cercle à égales distances de la ligne de séparation. En opérant sur des feuilles simplement juxtaposées de cuivre et de nickel ou d'acier très minces, ou même de cuivre ou d'argent en deux épaisseurs, ou encore de cuivre et fer, j'ai vérifié très exactement le calcul de Quincke, d'après lequel les courbes *réfractées* dans la seconde surface restent des arcs de cercle

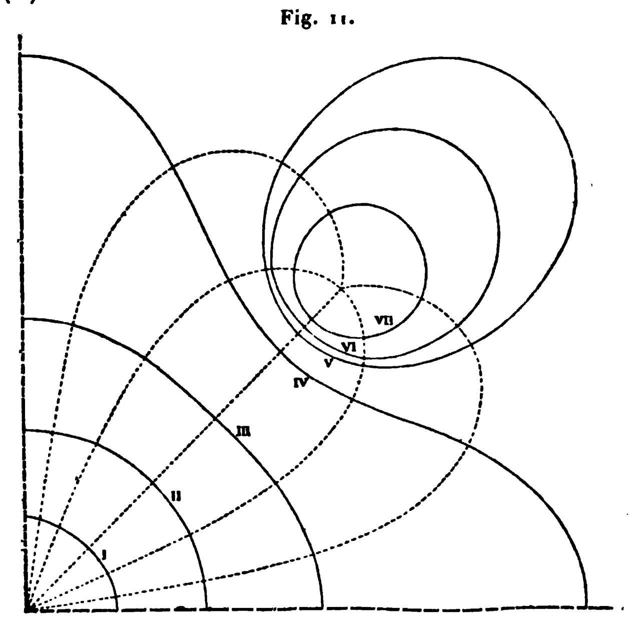
(1) Ce dernier cas répondant à des *lacunes* de la feuille conductrice.
(2) C'est-à-dire, expérimentalement, de $0^m,20$ à $0^m,30$ de côté.

Digitized by Google

comme sur le plan homogène, tandis que les autres présentent une déformation doublement frappante quand on les dessine entières, sans les arrêter aux limites du cercle.

Mais la vérification la plus probante de la méthode est certainement due aux observations nouvelles que j'ai faites de sa réversibilité, en généralisant une idée de Töpler [1], déjà soumise à un premier essai de contrôle par M. Tschirjew, de Saint-Pétersbourg [2].

Fig. 11.



N°s 8 et 13 du tableau d'ensemble.

Au lieu d'astreindre les électrodes à n'avoir pour projections que des courbes infiniment petites du système équipotentiel, si on leur donne pour directrice un circuit complet de lignes d'écoulement, sous certaines conditions de discontinuité aux pôles et de continuité entre ceux-ci, l'on reproduit de toutes pièces, en anneaux colorés, les systèmes orthogonaux des précédents, c'est-à-dire les systèmes de lignes d'écoulement dessinés en ponctué sur toutes

---

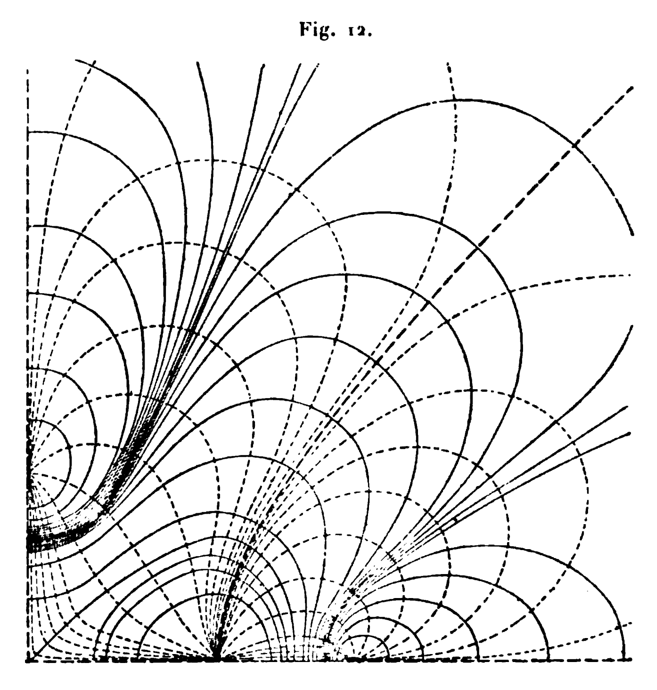
(1) *Pogg. Ann.*, t. CLX, p. 386 (1877).
(2) *Wied. Ann.*, t. III, p. 196 (1878).

Digitized by Google

les figures (sauf 5 et 6). A la vérité, l'on ne parvient pas à faire croiser rigoureusement en un même point des lignes qui représentent toujours des différences de niveau électrique, mais on en approche presque indéfiniment et l'on ne saurait espérer meilleure vérification de la réciprocité physique des deux solutions conjuguées de l'équation $\Delta\varphi$, solutions d'aspects si divers, dont l'une a toutes ses lignes rayonnantes, et l'autre concentriques autour de certains points singuliers.

Les précautions expérimentales sont d'ailleurs la traduction

Fig. 12.



N°s 10 et 15 du tableau d'ensemble.

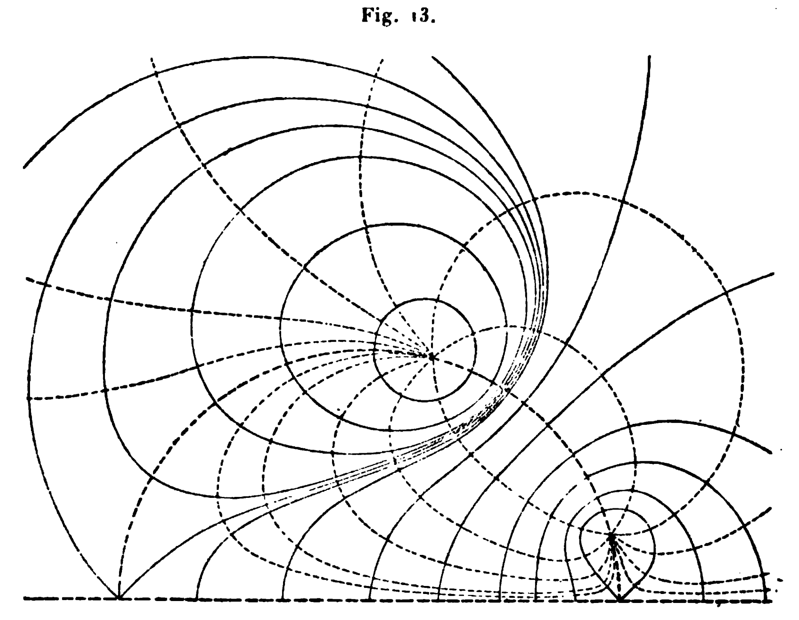
rigoureuse des restrictions de la théorie. Autour de chaque pôle, il faut détacher une portion infiniment petite du plan, discontinuité que l'on réalise avec un simple trou d'aiguille servant de base à un petit cylindre isolant dans la masse liquide. Entre les petits cylindres s'étendent les lames électrodes, dont chacune doit se projeter suivant une ligne d'écoulement *physique,* complète et continue, tandis que l'ensemble doit se refermer sur lui-même,

Digitized by Google

fût-ce en traversant l'infini, après avoir passé n fois par chaque pôle d'ordre n, avec changement de signe à chaque passage.

Pratiquement et sans parler du cas où l'on utiliserait, pour y coller les électrodes, les parois d'auges toutes faites, on peut satisfaire à toutes les conditions de deux manières. Ou bien l'on moulera sur un cylindre spécialement construit des lames de platine mince ou d'étain de $0^{mm},5$, qu'on fera déborder bien également et sans déformation, toutes d'une même quantité; cela n'est guère

Fig. 13.



N°s 20 et 25 du tableau d'ensemble.

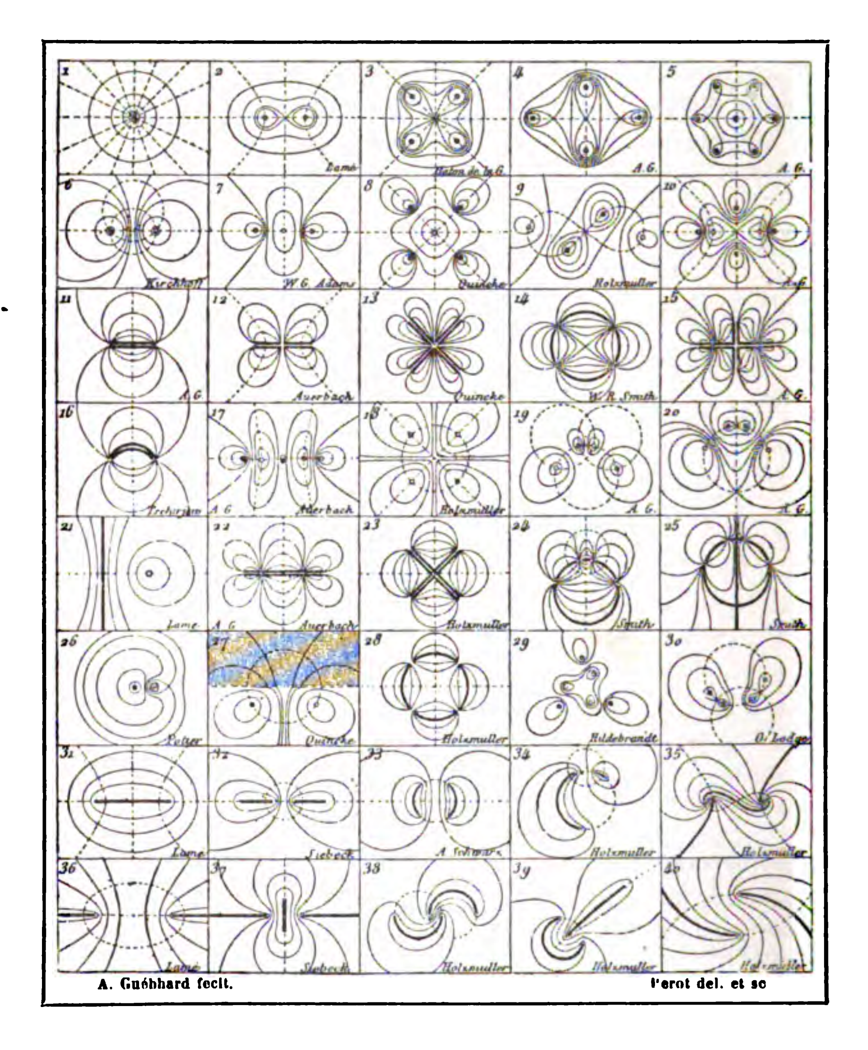
praticable que lorsqu'on a pour directrice un ensemble de lignes formant cercle.

Ou bien l'on choisira, pour réunir tous les couples de pôles, des lignes assez voisines pour qu'on puisse les regarder comme parallèles, et il suffira de coller dos à dos des bandes d'étain sur une lame isolante, facile à contourner suivant telle courbe que l'on voudra. Ce sera très simple, si l'on trouve dans le système d'écoulement des portions de lignes droites.

Mais alors, comme il serait presque impossible d'éviter des contacts métalliques dans les portions libres d'électrodes si rappro-

Digitized by Google

chées et de signes contraires, on préférera les appliquer entièrement sur la lame isolante jusqu'à 1^{mm} ou 2^{mm} du bord, qu'on engagera dans une fente découpée *ad hoc* sur la feuille conductrice. On



obtient ainsi, même avec une force électromotrice modérée, des résultats très satisfaisants, dont la précision ne dépend plus que du soin apporté au dispositif de l'expérience.

Les schéma réunis en tableau dans la figure ci-dessous résument,

Digitized by Google

sans qu'il soit besoin d'explication [1], les principaux cas réalisés par moi jusqu'à ce jour. C'est des plus simples naturellement que la loi se dégage avec le plus d'évidence : mais aucun, des plus compliqués, n'a jamais trompé mes prévisions; et, quoiqu'il me reste à compléter, peut-être, au point de vue expérimental, l'étude des électrodes multiples à directrices finies non astreintes à passer par les pôles ou à former un circuit complet, j'ai obtenu déjà des vérifications suffisantes [2] pour autoriser, dans la limite de mes expériences, la généralité de mon énoncé, dont la portée, une fois établie comme moyen d'investigations sûres, dépassera certainement le domaine spécial de la Physique expérimentale pour aider à la solution figurative de toutes les questions du calcul des quantités complexes et des transformations imaginaires.

Méthode expérimentale pour la détermination de l'ohm; par M. G. Lippmann.

On prend l'étalon E dont on veut connaître la résistance absolue r, et qui est, par exemple, une colonne de mercure entourée de glace fondante; on l'intercale dans le circuit d'une pile à sulfate de cuivre P, de façon qu'il soit traversé par un courant d'intensité constante i. Il naît aux extrémités de l'étalon une différence de potentiel dont la valeur est e. On a dès lors

$$r = \frac{e}{i},$$

---

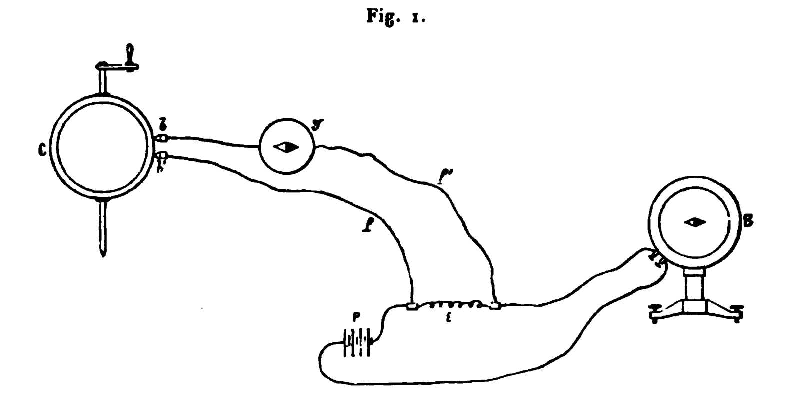
[1] Les traits continus représentent les lignes équipotentielles, ou la figure électrochimique; les traits interrompus, les principales lignes d'écoulement ou les découpures de limites; les traits forts, la projection des électrodes, dont le signe se déduit, à première vue, de l'allure des courbes.

[2] Faute de documents, ces vérifications n'avaient pu porter jusqu'à ce jour que sur les coniques homofocales de Lamé et sur les courbes dites de Siebeck [*Borchardt's Journ. f. r. u. angew. Math.*, t. LVII, p. 359 (1860)], faciles à réaliser, ainsi que d'autres, moins probantes, de Margules [*Sitzb. d. Wien. Ak.*, t. LXXV, (2), p. 833 (1877)] avec des combinaisons orthogonales de portions de lignes droites. Mais tout récemment la communication obligeante des planches inédites d'un Ouvrage du Dr Holzmüller, de Hagen (*Einführung in die Theorie der isogonalen Verwandtschaften und der conformen Abbildungen*, Leipzig, 1882), m'a permis d'étendre mon contrôle à des arcs courbes à peu près quelconques.

Digitized by Google

à condition que les quantités i et e soient évaluées en unités électromagnétiques absolues. Afin de connaître le dénominateur i, on fait passer le courant de pile qui traverse l'étalon à travers une boussole des tangentes B. Afin de connaître le numérateur e, on fait usage d'une méthode d'opposition. A cet effet, on dispose dans une salle voisine un cadre vertical C mobile autour d'un axe vertical, et auquel on imprime une vitesse de rotation de n tours par seconde. Ce cadre porte un fil de cuivre dont le circuit reste toujours ouvert; aucun courant n'y prend donc naissance; seulement le magnétisme terrestre y fait naître une force électromotrice d'induction qui atteint une valeur maxima e au moment où le plan du cadre coïncide avec le plan du méridien magnétique. A ce moment, les extrémités du fil induit mobile sont mises en communication, pendant un temps très court, avec les extrémités de l'étalon E, par l'intermédiaire de deux fils f, f' disposés à poste fixe; on a soin

Fig. 1.



que la force électromotrice d'induction e soit de sens contraire à la différence de potentiel ri, qui a lieu aux extrémités de E; si l'intensité de i est telle que la différence de potentiel ri soit égale à e, aucun courant ne se produit dans les fils f, f'. En observant un galvanomètre y placé sur le trajet d'un de ces fils, on s'assure qu'il ne dévie pas et que, par conséquent, l'égalité $e = ri$ est satisfaite. On emploie comme galvanoscope un galvanomètre astatique de Sir W. Thomson. La marche des expériences est donc la suivante : un premier observateur s'occupe de rendre la vitesse de rotation n constante et de l'enregistrer; un deuxième observateur

Digitized by Google

fait varier l'intensité ι d'une manière continue au moyen d'un rhéostat, jusqu'à ce que le galvanoscope y se maintienne au zéro. Enfin, une troisième personne note la déviation α de la boussole des tangentes. On a dès lors

$$r = \frac{2\pi n S}{K \tang \alpha};$$

S est l'aire enveloppée par le fil du cadre, mobile, K la constante de la boussole B; ces deux quantités sont connues par constructions.

On voit que les quantités n et α sont précisément les mêmes que celles qu'il est nécessaire de déterminer dans la méthode si ingénieuse employée autrefois par un Comité de l'Association Britannique. L'avantage du procédé que j'ai l'honneur d'exposer, c'est qu'il rend inutiles certaines corrections, et qu'il supprime certaines perturbations qui interviennent dans les expériences du Comité. Il est d'ailleurs indépendant de l'intensité du magnétisme terrestre.

D'abord le courant dont on mesure l'intensité est constante; il en résulte qu'il n'y a plus lieu de s'occuper des extra-courants. Dans un savant travail, récemment publié sous les auspices de la Société royale de Londres, lord Rayleigh et M. Schuster ont montré combien le calcul de la correction due aux extra-courants est difficile; l'un de ces savants fait remarquer que cette correction est importante, et qu'elle devait s'élever, dans les expériences des comités faites avec de grandes vitesses jusqu'à 8 pour 100 du résultat final [1]. Il y a donc avantage à supprimer les extra-courants, en même temps que les courants induits, dans les supports métalliques de l'appareil.

En second lieu, le cadre mobile C est à une grande distance de l'aiguille de la boussole B. Il en résulte que cette aiguille ne peut plus, par son aimantation, faire naître de courants induits dans le cadre mobile, et que la correction qui était nécessaire de ce chef est supprimée. On se souvient que, dans les déterminations faites par le comité de l'Association Britannique, on tenait compte par le calcul de cette induction; on se souvient aussi que, pour rendre cette correction plus petite, on faisait usage d'une aiguille très fai-

[1] *Proc. Roy. Soc.*, n° 213, p. 106; 1881.

Digitized by Google

blement aimantée; or, ainsi que l'ont fait remarquer divers auteurs, une aiguille très faiblement aimantée n'est plus dirigée que par des forces très petites; elle devient donc particulièrement sensible aux actions perturbatrices, telles que les courants d'air, la torsion du fil de cocon, les trépidations; on a même pensé à expliquer ainsi ce fait singulier signalé par le Comité dans ses expériences, que les déviations de l'aiguille varient en grandeur de 3 à 8 pour 100, suivant le sens de la rotation du cadre. Si l'on éloigne le cadre de l'aiguille, on peut donner sans crainte à celle-ci la plus forte aimantation; on est libre aussi, sans crainte des trépidations, de donner au cadre tournant une très grande vitesse de rotation, et de disposer des dimensions de ce cadre, ainsi que de celles de la boussole, de la manière la plus favorable aux mesures.

Afin d'établir à chaque tour la communication entre les extrémités du fil induit C et celles de l'étalon E, on fait aboutir les bouts du fil induit à de petits balais fixés à une extrémité du diamètre horizontal du cadre C, et on termine les fils F, F′ par deux contacts fixés dans le plan du méridien magnétique. Aucune précision n'est nécessaire pour cet ajustement. Car, en admettant que les contacts fixes sous-tendent un angle de 1° (ou $\frac{1}{50}$ du rayon de part et d'autre du plan du méridien), l'erreur qui en résulte ne serait encore que de $\frac{1}{5000}$. Les contacts glissants sont toujours irréguliers et ne se prêteraient pas à la mesure d'un courant; mais ici ils ne doivent servir qu'à constater la non-existence d'un courant. Enfin la sensibilité du galvanomètre astatique employé en y est connue, et l'on peut s'assurer par le calcul que la lecture de cet instrument peut n'introduire qu'une incertitude inférieure à $\frac{1}{1000}$.

Digitized by Google

CATALOGUE

DE

LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1881), in-4°.

Annales de Chimie et de Physique (1873 à 1881), in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1881), in-4°.

Revue des Travaux scientifiques, publiée par le Ministère de l'Instruction publique, année 1881.

Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1881), in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, t. V (1880-1881).

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1881), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1881), in-8°.

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1880), in-18.

La lumière électrique, années 1880-1881.

L'Aéronaute (juillet 1877 à décembre 1881), in-8°.

Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.

Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1879), in-4°.

Proceedings of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159, novembre 1874 à février 1875; t. XXIV à XXXI (1875 à 1881), t. XXXII, nos 212-213), in-8°.

Philosophical Magazine (1873 à 1881), in-8°.

Annales de Poggendorff (1873 à 1876). Annales de Wiedemann (1877 à 1881), in-8°.

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1881), in-8°.

Digitized by Google

Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1881), in-8°.

The Physical Society of London. Proceedings (mars 1874 à juillet 1881), in-8°.

The scientific Proceedings of the royal Dublin Society (1877 à 1880).

The scientific Transactions of the royal Dublin Society (1877 à 1880).

Annual Report of the Department of Mines new south wales for the year 1878 et 1819, avec planches, 2 vol.

Journal and Proceedings of the Royal Society of new south wales (1879).

Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (1877 à 1881), in-4°.

Fortschritte der Physik (1845 à 1877, t. I à XXXI), in-8°, table des t. I à XXXI.

H.-W. Dove und *L. Moser*. — Repertorium der Physik, 1847-1846; 7 vol.

G.-E. Fechner. — Repertorium der Experimental-Physik, 1832; 3 vol.

Ferdinand Bothe. — Physikalisches Repertorium oder die wichtigsten Sätze der elementaren Physik, 1871; 1 vol.

Pouillet Muller. — Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 1857; 7 vol.

G. Karsten, F. Harms und *G. Meyer*. — Einleitung in die Physik, 1869; 1 vol.

Quintus Icilius. — Experimental-Physik, ein Leitfaden bei Vorträgen, 1861; 1 vol.

W. Eisenlohr. — Lehrbuch der Physik, 1857; 1 vol.

Challis. — Essay on the principles of Physics, 1873; 1 vol.

A. Wüllner. — Experimental-Physik, 1870; 3 vol.

A. Naccari et *M. Bellati*. — Manuale di Fisica pratica, 1874; 1 vol.

Dr *Al. Mousson*. — Die Physik auf Grundlage der Erfahrung, 1875; 3 vol.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Crónica cientifica de Barcelona (1878, t. I), in-8°.

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont, Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Œuvres de L. Foucault. 1 vol. avec planches (1878).

Bulletin trimestriel des publications de la librairie Gauthier-Villars (3e et 4e trim. de 1877, 1er et 2e trim. de 1878).

Le sucre; par M. *Dubrunfaut*, 2 vol. in-8°.

H.-B. Cornwall. — Manuel d'analyse qualitative et quantitative au chalumeau (traduit par M. *G. Thoulet*), 1 vol.

Nouveau Règlement pour la construction et l'ameublement des écoles primaires; par M. *Planat*.

Musée de Kensington. Handboock to the special Loan Collection of Scientific apparatus, 1 vol. in-8° (1876).

Catalogue of the special Loan Collection of Scientific apparatus at the south Kensington-Museum.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extrait des *Comptes rendus*).

Digitized by Google

Notice sur le R. P. Secchi; par MM. *Ferrari* (*S.*) et *Marchetti*, br. in-4°.

Notice sur les travaux de M. Romieu, par M. *Roche*, br. in-4°.

Notice sur Pierre-A. Favre; par M. *F. Le Blanc*, in-4°.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 br. in-8°.

Notice sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications à l'Exposition universelle (1878); br. in-8°.

Paul Bert. — La pression barométrique; 1 vol.

Notice sur la différence des pressions que l'air exerce sur le baromètre; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Sur la loi de diminution des pressions des couches d'air lorsque l'état d'équilibre de l'atmosphère est troublé, particulièrement sous l'influence des bourrasques; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Influence du son des cloches sur la hauteur du baromètre; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur la cause de l'influence du vent sur la pression barométrique; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Mesures d'altitudes barométriques prises à la tour de la Cathédrale d'Anvers par des vents de directions et de vitesses différentes; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Description d'un Baromètre-balance enregistreur; par M. *Crova*, br. in-4°.

Congrès international des sciences géographiques, 2e session (Paris, 1875); Origine et historique du Congrès, br. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau.*

Sulla vescia natatoria dei Pesci; par M. *Marangoni.*

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e leggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Neuere Apparate für natürwissenschaftliche Schule und Forschung gesammelt; von *Th. Edelmann*, 2 vol.

Observation sur le langage mathématique et sur l'enseignement du calcul; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Digitized by Google

Réforme analytique de la règle de trois ou règle d'or et Notions d'Analyse mathématique d'après Descartes, Pascal et Arnauld; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Du calcul des trajectoires, d'après les expériences de M. Bashforth sur la résistance de l'air; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la résistance de l'air sur les projectiles, d'après les expériences d'Athanase Dupré sur l'écoulement des fluides; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur les appareils Marcel Deprez pour la mesure des pressions des gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur l'intégromètre Marcel Deprez et le planimètre Amsler; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Sur les moyens d'éliminer, dans l'évaluation des températures, l'influence de la variation des points fixes des thermomètres à mercure; par M. *Pernet*, br. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

De l'équilibre thermique dans les actions chimiques; par M. *D. Tommasi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropici dell' idrogeno; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme*, br. in-8°.

New determination of the mechanical equivalent of heat; par M. *Joule*, br. in-4°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question de température (concours 1872); par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874; par M. *Crova*, br. in-4°.

Digitized by Google

Études des radiations émises par les corps incandescents; mesure optique des hautes températures; par M. *Crova*, br. in-8°.

La matière radiante et le radiomètre; par M. *Macé de Lépinay*.

Experiments on the heat conduction in stone based on Fourier's « Théorie de la chaleur (2e Partie) »; par *Ayrton* et *John Perry* (Yokohama, 1875), in-8°.

Etude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Sull' azione della cosi detta forza catalitica, spiegata secondo la theoria termodinamica; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe); par M. *Hesehus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'Orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'Orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso, manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Étude sur les alliages de plomb et d'antimoine; liquations et sursaturations qu'ils présentent; par M. *de Jussieu*, br. in-18.

Quelques expériences sur les lames liquides minces; par M. *J. Plateau*, br. in-8°.

Sur les mouvements en apparence spontanés des bulles d'air dans les niveaux et des bulles vaporeuses dans les enclaves liquides des minéraux; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Application de la thermodynamique à l'étude des variations d'énergie potentielle des surfaces liquides, conséquences diverses; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Sur une nouvelle application de l'énergie potentielle des surfaces liquides; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Nouvelles applications de l'énergie potentielle des surfaces liquides; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Sur quelques phénomènes curieux observés à la surface des liquides en mouvement; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Voyages et métamorphoses d'une gouttelette d'eau; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Digitized by Google

Sur une propriété générale des lames liquides en mouvement; par M. *G. Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Notice sur l'application du diapason à l'étude de la propagation du son et des mouvements vibratoires dans les liquides; par M. *Ch. Montigny*, br. in-4°.

Mémoire sur la vitesse de propagation des flammes; par M. *F. de Benevides*.

Fr.-Jos. Pisko. — Die neueren Apparate der Akustik, 1865; 1 vol.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme*.

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur un phénomène particulier de résonnance; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur les courbes dues à la combinaison de deux mouvements vibratoires perpendiculaires; par M. *Terquem*, op. in-4°.

Acoustique et optique des salles de réunion; par M. *Lachez*, 1 vol., 1879.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, suivi des Causes physiologiques de l'harmonie musicale de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen; par M. le Dr *E. Mach*.

Optisch-akustische Versuche. Die spectrale und stroboskopische Untersuchung tonender Körper; par M. le Dr *E. Mach*.

Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit; par M. le Dr *E. Mach*.

Die Gestalten der Flüssigkeit der Symmetrie; par M. le Dr *E. Mach*.

Beiträge zur Doppler'schen Theorie der Ton-und Farbenänderung durch Bewegung; par M. le Dr *E. Mach*.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Des grandeurs électriques et de leur mesure en valeurs absolues; par M. *Blavier*, 1 vol. in-8°.

Différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact; par M. *H. Pellat*. (Thèse.)

Sur la réversibilité de la méthode électrochimique pour la détermination des réseaux équipotentiels ou d'écoulement; par M. *A. Guébhard*.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Digitized by Google

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue, Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (Thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Intégration des équations différentielles auxquelles conduit l'étude des phénomènes d'induction dans les circuits dérivés (Thèse, 1880); par M. *Brillouin*.

Note sur la théorie du téléphone; par M. *Navez*.

Réponse aux Observations de M. du Moncel; par MM. *Navez père* et *fils*.

Discussion sur la théorie du téléphone entre MM. *du Moncel* et *Navez*.

Lettre relative à la Note de MM. Navez père et fils sur la théorie du téléphone; par M. *du Moncel*, br. in-8°.

Des applications du téléphone et du microphone à la Physiologie et à la Clinique, 1880; par M. *Boudet de Pâris*, 1 vol.

Contribucion al estudio de la Fonographia; par M. *Roig y Torres*, br. in-4°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Traité d'électricité; par M. *Mascart*, 2 vol.

Traité théorique et pratique des piles électriques; par M. *Cazin*, annoté et publié par M. *A. Angot*.

L'éclairage à l'électricité. Renseignements pratiques; par M. *H. Fontaine*.

L'éclairage électrique; par M. le Cte *du Moncel*.

Les principales applications de l'électricité; par M. *Hospitalier*, 1 vol. in-8°.

Cinquième Note sur les paratonnerres. Coût des paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877); par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre*; par M. *Hervé Mangon*, br. in-4°.

Il parafulmine Melsens; par MM. *Giuseppe Card. Nardi*, br. in-8°.

Notice sur les effets de la foudre sur les arbres placés près d'un fil télégraphique; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Notice sur la production successive d'éclairs identiques, aux mêmes lieux de l'atmosphère, pendant l'orage de juillet 1871; par M. *Ch. Montigny*, br. in-4°.

Recherches sur la résistance des métaux employés dans la construction des paratonnerres aux effets de fusion par l'électricité; par M. *Ch. Montigny*, br. in-4°.

The resistance of galvanometer coils; par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

The resistance of the electric light (Ext. de la *Soc. of Eng. Telegr.*); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

Digitized by Google

Note on electrolytic polarisation (extrait); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, in-8°.

Versuche vermittelst der Platten. — Elektrometer über die Volta'schen Fundamentalversuche; par M. le Dr *Ph. Carle*.

Les télégraphes; par M. *Ternant*, 1 vol. in-8°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie duplex; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz; par M. *Bobileff* (en russe), br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe); par M. *Borgman*, br. in-8°.

Sur une application de l'éclairage électrique faite à la filature du Champ-du-Pin; par M. *Grosseteste*, br. in-4°.

Rapport sur l'éclairage électrique avec la lampe Reynier; par M. *Dupuy*, br. in-8°.

Machina dielettrica; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

The electrical properties of Bee's-Wax and lead chloride (Extrait du Philos. Mag.); par M. *Ayrton*, br. in-8°.

Sopra un' azione ponderomotrice interna della corrente elettrica; par M. *Roiti*, br. in-8°.

The resistance of the arc of the electric light; by *Ayrton* an *John Perry*, br. in-8°.

Sur la décomposition par la pile des sels dissous dans l'eau (Thèse, 1856); par M. *J.-Ch. d'Almeida*.

Du zinc amalgamé et de son attaque par les acides; par M. *J.-Ch. d'Almeida*.

Étude sur les machines magnéto-électriques; par M. *J. Joubert*, br. in-4°.

Note on electrolytic polarisation; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Précis instrumental et thérapeutique; par M. *Tripier*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Recherches sur l'induction unipolaire, l'électricité atmosphérique et l'aurore boréale; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Théorie des phénomènes électriques; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Digitized by Google

Recherches sur la force électromotrice dans le contact des métaux et sur la modification de cette force par la chaleur; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Sur la résistance des gaz; par M. *Edlund.*

Ueber die Electricitätserregung beim contact von Metallen und Gasen; par M. *Schulze Berge.*

Organisation automatique du transport et de la distribution de l'énergie; par M. *Cabanellas.*

Distribution de l'électricité à domicile par canalisation; par M. *Gravier*, br. in-4°.

Sulla rapidita con cui la luce modifica la resistenza elettrica del selenio; par MM. *Manfredo Bellati* et *Romanese.*

Zur Teorie inconstanter galvanischer Elemente; par M. *N. Slouginoff.*

Notice analytique des inventions de M. Delaurier à l'Exposition internationale d'Électricité; br. in-4°.

Some electrical experiments, with crystalline selenium; par *Robert Sabine.*

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Felice Matteucci; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6°, 7° et 8° édit.); par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Le photomètre électrique (en russe); par M. *Egoroff*, br. in-8°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

Études photométriques; par M. *Cornu*, br. in-8°.

J. Hogg.— The microscope and its history, construction and applications, 1856; 1 vol.

P. Harting und *Fr.-Wilh. Theile.*— Das Mikroskop. Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben, 1866; 3 vol.

Notice sur la différence des appréciations de la grandeur apparente des images microscopiques par divers opérateurs; par M. *Ch. Montigny*, br. in-4°.

Sur la limite ultra-violette du spectre solaire; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur l'absorption par l'atmosphère des radiations ultra-violettes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Observation sur la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes; par M. *Cornu*, br. in-4°.


Digitized by Google

Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance absorbant, dans l'atmosphère, les radiations solaires ultra-violettes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Étude du spectre solaire ultra-violet; par M. *Cornu*.

Sur une loi simple relative à la double réfraction circulaire naturelle ou magnétique; par M. *Cornu*.

Sur les raies sombres du spectre solaire et la constitution du Soleil; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur quelques conséquences de la constitution du spectre solaire; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre; par MM. *Macé de Lépinay* et *V. Nicati*.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Sur les propriétés optiques des mélanges cristallins de substances isomorphes et sur l'explication de la polarisation rotatoire; par M. *E. Mallard*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Illusions astronomiques; par M. *Schwedoff*, br. in-8°.

Azione dei raggi solari sui composti acidi d'argento; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Description et emploi du télémètre de poche à double réflexion; par M. *Gaumet*, br. in-8°.

The mirror of Japan and its magic quality; by *Ayrton*, br. in-8°.

The magic mirror of Japan; by *Ayrton* and *J. Perry*, br. in-8°.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Nouveau procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés; par M. *A. Guébhard*.

Exposé élémentaire des découvertes de Gauss et de Listing sur les points cardinaux des systèmes dioptriques centrés; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Note sur quelques nouveaux becs intensifs (becs Siemens à régénérateurs, etc.); par M. *Cornuault*, br. in-8°.

Une application des images accidentelles. Bibliographie analytique des principaux phénomènes subjectifs de la vision depuis les temps anciens jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, suivie d'une bibliographie simple pour la partie écoulée du siècle actuel; par M. *J. Plateau*, 7 br. in-4°.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

Digitized by Google

Essai sur des effets de réfraction et de dispersion produits par l'air atmosphérique; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Recherches sur les variations de la scintillation des étoiles selon l'état de l'atmosphère; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Note sur les arcs-en-ciel surnuméraires; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Corrélation entre le pouvoir réfringent et le pouvoir calorique de diverses substances; par M. *Ch. Montigny*, br. in-4°.

Note sur des phénomènes de coloration des bords du disque solaire près de l'horizon; par M. *Ch. Montigny*.

Note sur la séparation des trajectoires décrites dans l'atmosphère par des rayons de même origine, mais de réfrangibilité différente et sur les effets de cette séparation à l'égard de la scintillation; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Notice sur la scintillation et sur son intensité pendant l'aurore boréale observée à Bruxelles le 5 avril 1870; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Notice sur la scintillation des étoiles; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Notice sur un nouveau scintillomètre; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur cette question posée par Arago : « La scintillation d'une étoile est-elle la même pour les observateurs diversement placés? » par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Sur la prédominance de la couleur bleue dans les observations de scintillation aux approches et sous l'influence de la pluie; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Recherches sur les changements de couleurs qui caractérisent la scintillation des étoiles de teintes rouge ou orangée, ou du troisième titre; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Nouvelles recherches sur la fréquence de la scintillation des étoiles dans ses rapports avec la constitution de leur lumière d'après l'analyse spectrale; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Nouvelle méthode de mesure de l'indice de réfraction des liquides; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Recherches sur l'indice de réfraction de la lumière blanche réfractée sans dispersion sensible; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Note sur le pouvoir dispersif de l'air; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Meteorologica Romana; par M. *Ferrari* (*G.-St.*), br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Note sur l'organisation des études météorologiques en France; par M. *Goulier*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876-1877; par M. *Meurien*.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876 à 1878; par M. *Meurien*.

Illusions astronomiques; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Théorie mathématique des formes cométaires; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Digitized by Google

Qu'est-ce que la Grêle? par M. *Th. Shwedoff* (en russe).

Contributions à l'étude de la grêle et des trombes aspirantes; par M. *Colladon*, br. in-8°.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Joh. Müller. — Lehrbuch der kosmischen Physik, 1872; 1 vol. avec Atlas.

Joh. Müller. — Mathematischer Supplementband zum Grundriss der Physik und Meteorologie, 1866; 1 vol.

Joh. Müller. — Auflösungen der Aufgaben des Grundrisses der Physik und Meteorologie sowie des dazu gehörigen mathematischen Supplementbands, 1866; 1 vol.

A. de Humboldt. — Kosmos, 1845; 1 vol.

Janvier 1882.

N. B. — *Tous les ouvrages de la Bibliothèque sont à la disposition de MM. les membres de la Société. Les membres habitant la province auront à payer les frais de poste pour les ouvrages qui leur seront envoyés en communication.*

Digitized by Google

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1877-1882.

Dix éléments Grenet; donnés par M. *Ducretet*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *J. Duboscq*.
Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens*.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1882.)

BUREAU.

MM. GERNEZ, *Président.*
JANSSEN, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
BENOIT (René), *Secrétaire.*
PELLAT, *Vice-Secrétaire.*
NIAUDET, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non-résidants :*	
MM. FERNET,	1882.	MM. CROVA (Montpellier),	1882.
GOULIER.		MACH (Prague).	
MAURAT.		PÉRARD (Liège).	
POTIER.		TERQUEM (Lille).	
JANSSEN,	1880.	BICHAT (Nancy),	1880.
SALET.		GOVI (Naples).	
BOUTAN.		GRIPON (Rennes).	
SEBERT.		SCHWEDOFF (Odessa).	
BOUTY,	1881.	ALLUARD (Clermont-Ferrand),	1881.
D'EICHTHAL.		ANDREWS (Belfast).	
GARIEL.		LALLEMAND (Poitiers).	
JAVAL.		WUNSCHENDORFF (Rouen).	

Digitized by Google

MEMBRES HONORAIRES.

MM. Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Stokes (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir William Thomson, F. R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
Plateau, Membre de l'Académie royale des Sciences à Gand.

MEMBRES A VIE [1].

Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Ingénieur civil, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 120, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres, 41, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.
Gernez, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue Claude-Bernard.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Directeur de l'École Normale de Perpignan.
Blavier, Directeur Ingénieur des lignes télégraphiques, 62, rue Nicolo.
Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), 3, rue Taitbout.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue Claude-Bernard.

---

[1] Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

Digitized by Google

MM. BARDY, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 29, Regency Street, Westminster S. W. (Londres).

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

BLONDLOT, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

GUÉBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 12, rue de Chartres (Neuilly-sur-Seine).

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

BORDET (LUCIEN), ancien élève de l'École Polytechnique, 121, boulevard Haussmann.

LIPPMANN, Maître de conférences à la Sorbonne, 45, rue Claude-Bernard.

D'ABBADIE, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

VILLIERS (Antoine), Chef des travaux chimiques à l'École de Pharmacie, 125, rue Notre-Dame-des-Champs.

JAVAL, Directeur du laboratoire d'Ophthalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

LEMONNIER, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

GROSSETESTE (William), Ingénieur, E. C. P., 47, Sinne, Mulhouse.

POTIER, Ingénieur des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

MEYER, Ingénieur des Télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works Co limited, à Londres.

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

FRIEDEL, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RODDE (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

THOLLON, à l'Observatoire de Nice.

GARIEL (C.-M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

MONCEL (comte DU), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

Digitized by Google

MM. Cabanellas, Ingénieur, 19, rue des Vosges.
Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique, 4, rue Perrault.
Pellat, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue Monge.
Dufet, Professeur au Lycée au Saint-Louis, 43, avenue de l'Observatoire.
Raynaud, Ingénieur des Télégraphes, 60, boulevard Saint-Germain.
Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 46, boulevard Magenta.
Poincaré, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.
Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).
Van den Kerchove, Sénateur, à Gand (Belgique).
Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 20, rue Delambre.
Romilly (de), 8, rue de Madrid.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.
ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALEXANDRE (Henri), Élève de l'École Centrale, 7, boulevard de Morland.
ALEXÉEFF, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).
ALEXIS (Ferdinand-Marius), Commis principal au Bureau télégraphique central à Marseille.
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Fortwilliam Park, Belfast (Irlande).
ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.
ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 157, avenue d'Eylau.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
ARSONVAL (d'), Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France, 20, avenue des Gobelins.
AUBRY (Félix), Principal du Collège de Chalon-sur-Saône.
AUBRY, Inspecteur régional des lignes télégraphiques, à Limoges.
AUGUEZ (Émile), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.
AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.
AYMONNET, Répétiteur à l'École d'Agriculture de Grignon.

BAGNERIS (Eugène), Docteur en Médecine, 13, rue du Sommerard.

Digitized by Google

MM.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Grenoble.

BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Nice.

BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Fromentin.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAU DE MURATEL (**Maurice de**), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.

BARTHÉLEMY, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

BATCHELOR (**Charles**), Administrateur de la Compagnie Edison, 33, avenue de l'Opéra.

BAUDOT, Employé des lignes télégraphiques, 181, rue de Vaugirard.

BEAU (**Henri**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

BÉCLARD, Doyen de la Faculté de Médecine, 65, boulevard Saint-Michel.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 57, rue Cuvier.

BEDOS, Professeur au Lycée, 30, rue de la Prade, à Carcassonne.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne)

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (**Jules**), Manufacturier à Loches (Indre-et-Loire).

BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), Commissaire général de l'Exposition internationale d'Électricité, 8, rue Legendre.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 56, rue Madame.

BERSON, Préparateur de Physique au Collège de France.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHEREAU (**Édouard**), Préfet des Côtes-du-Nord.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège de Tulle.

BERTIN, Maître de conférences et Sous-Directeur de l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BESOMBES, Employé des lignes télégraphiques, à Marseille.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 3, rue Taitbout.

BLAVIER, Directeur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 62, rue Nicolo.

Digitized by Google

MM.

BLIN (**Gaston**), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOISTEL, Ingénieur civil, 8, rue Picot (avenue du Bois de Boulogne).

BOISTEL, Professeur à Dijon.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).

BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration générale des lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle.

BONVALOT, Ingénieur, à Dijon.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.

BORGMAN, Privat-docent à l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDET DE PÂRIS (**Dr M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.

BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.

BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.

BOURGET, Recteur de l'Académie d'Aix.

BOURGUET (**Lucien du**), 3, place Bernex, à Marseille.

BOUSQUET, Professeur à l'École normale de la Grande-Sauve (Gironde).

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 1, rue des Deux-Portes Saint-Jean.

BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.

BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.

BREGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.

BREGUET (**Antoine**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 4, rue Perrault.

BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRILLOUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRION, ancien professeur au Lycée Saint-Louis, route du Gave, à Jurançon, par Pau (Basses-Pyrénées).

BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, rue Malebranche.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue Denfert-Rochereau.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sevres.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).

Digitized by Google

MM.

BRUNHES, Professeur au Lycée, 56, quai de Tounis, à Toulouse.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.
BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.
BUISSON, Ingénieur, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (G.), Ingénieur, 19, place des Vosges.
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CADIAT, Ingénieur, 24, rue Meslay.
CAEL, Inspecteur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.
CAILLETET, Correspondant de l'Institut, 14, rue Soufflot.
CALEMARD DU GENESTOUX, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, à Verdun.
CARAGUEL, Avocat, à Castres.
CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 20, rue Delambre.
CASALONGA, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVAGLIONE, Ex-Commissaire de l'Italie à l'Exposition internationale d'Électricité, 12, rue Lincoln.
CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZES, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.
CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.
CHABRERIE, Professeur au Collège de Brives.
CHAMAND (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.
CHAPERON (**Georges**), 40, place Decazes, à Libourne.
CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CHAUVEAU, Professeur de Physique au Lycée Saint-Louis.
CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor (Rio de Janeiro).
CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CLAVERIE, Professeur au Lycée de Bordeaux.
CLÉRAC, Sous-Inspr des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude Bernard.
CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.
COUHIN (**Claude**), Avocat à la Cour d'Appel, 58, rue de Ponthieu.
COULIER, Pharmacien inspecteur des armées, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 5, place Saint-François Xavier.
COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.
CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

Digitized by Google

MM.

CROS (**Ch.**), 40, rue du Four-Saint-Germain.

CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

CURIE (**Pierre**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, 2, rue de Saint-Simon.

CUSCO (le Dr), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 2, rue Gluck.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 25, rue Alsace-Lorraine, à Toulouse.

DAGUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMIEN, Professeur au Lycée, à Lille, 2, rue de la Louvière.

DANIEL, ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo.

DAVID (**André**), 14, rue de la Paix, à Nice.

DEBRAY, Membre de l'Institut, 10, rue Vauquelin.

DEBRUN, Préparateur à la Faculté des Sciences, 1, rue Rolland, à Bordeaux.

DÈCLE (**Ch.**), 38, rue Condorcet.

DECLERC, Professeur au Collège de Langres (Haute-Marne).

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DELAURIER, 77, rue Daguerre.

DELESTRÉE, Inspecteur d'Académie, à Niort.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.

DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, à Sceaux (Seine).

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard St-Michel.

DESCHIENS (**Victor**), Ingénieur, 90, rue de Maubeuge.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 7, boulevard des Capucines.

DESPRATS, Professeur au Collège de Millau (Aveyron).

DOLINSKI (**F.**), Licencié ex-Sciences, 46, rue Cambon.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, à Bar-le-Duc.

DOULIOT, Principal du Collège d'Épinal.

DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 30, rue Monsieur-le-Prince.

DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Directeur de l'École Normale de Perpignan (Pyrénées-Orientales).

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude Bernard.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 43, avenue de l'Observatoire.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lausanne (Suisse).

Digitized by Google

MM.

DUFOUR, à Lisieux.

DUJARDIN, 89, boulevard Saint-Michel.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 60, rue des Tournelles.

DUPUY, 17, rue Condorcet, à Lisieux.

DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 5, rue de Mirbel.

EHRHART (Théophile), Pharmacien, 5, rue Battant, à Besançon.

EICHTHAL (baron **d'**), 98, rue Neuve-des-Mathurins.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (Nicolas), Professeur de physique à l'Université de Varsovie (Russie).

ÉLIE, Professeur au Collège, 74, rue Saint-Gilles, à Abbeville.

ESTRADA (Francisco), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (Alexandre) 49, Boulevard Voltaire.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Fontanes, 115, rue Saint-Lazare.

FAURE, Ingénieur, 22, boulevard Voltaire.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, boulevard d'Enfer, 6 (au coin de la rue du Bac).

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue Claude Bernard.

FERRAY (Édouard), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FONTAINE (Hippolyte), 15, rue Drouot.

FOURNIER (Félix), 119, rue de l'Université.

FRICKER (Dr), 36, rue Notre-Dame de Lorette.

FRIDBLATT (A.), Contrôleur du Télégraphe, à Melun.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

FOUSSEREAU, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 3, rue Berthollet.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARAY, Directeur de 1re classe des télégraphes espagnols, 20, calle de la Montera, Madrid.

GARBAN, Professeur au Lycée 6, rue Neuve-Saint-Pierre, à Clermont-Ferrand.

GARBE, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences, 2, rue Levacher, à Alger (Algérie),

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GARIEL (C.-M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GAUMET, Lieutenant d'Infanterie, 52, rue Clerc.

Digitized by Google

MM.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle.

GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

GÉRALDY (**Frank**), Ingénieur électricien, 33, rue Saint-Denis, à Asnières.

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur-mécanicien, 8, passage Cottin, à Paris.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 17, rue Médicis.

GILLET DE GRANDMONT (**Dr**), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude Bernard.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Physique, 74, rue de Vaugirard.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOLOUBITZKY, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, 3, rue des Beaux-Arts.

GOSSART (**Ferdinand**), 15, rue Tronchet.

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), Administrateur Directeur de la Compagnie belge des Téléphones, 39, rue de Clichy.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.

GOVI, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

GOWER (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, Q. Great Winchester street, London, E.-C.

GOULIER, Colonel du Génie, 49, rue Vaneau.

GOUY, Docteur ès sciences, 10, rue de Vaugirard.

GRAMMACINI (**G.-H.-F**), Receveur du Bureau télégraphique central à Marseille.

GRAVIER, Ingénieur, 25, rue Lezsno, à Varsovie (Russie).

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber Gutta-percha and telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber Gutta-percha and telegraph Works C°, Silwertown. Essex, à Londres.

GRÉHANT (**Dr**), Aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, 17, rue Berthollet.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Lyon, 22, cours Morand.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, 20, rue Goland, à Crépy-en-Valois (Oise).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 47, E. C. P. Sinne, Mulhouse.

GUEBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 12, rue de Chartres, à Neuilly-sur-Seine.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

Digitized by Google

MM.

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUEROUT, 15, rue Champollion.

GUILLEBON (de), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

HAUCK (W.-J.), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

HEPITÈS, Professeur à l'École spéciale d'Artillerie et du Génie, 54, Strada Sfintilar, à Bucarest (Roumanie).

HESEHUS (N.), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, secrétaire de la rédaction de l'*Électricien*, 23, rue d'Arcole.

HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 14, quai de Béthune.

HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.

HUGUENY, Prof. à la Faculté des Sciences, 4, traverse du Chapitre, à Marseille.

HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

HUSSON (**Jean-Marie**), Ex-Commandant du vapeur télégraphique le *Pouyer-Quertier*, 26, rue Washington.

HUSSON (**Léon**), Commis principal de l'Eastern Telegraph Company, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

INFREVILLE (G. d'), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 39, Dey street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

ITSCHNER, Principal du Collège de Béziers.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.

JAMIN, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 17, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JENNESSON, ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

JEUNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.

JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 15, rue Drouot.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet (Grenelle-Paris).

Digitized by Google

MM.

JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester (Angleterre).
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.
JUSSIEU (**de**), Imprimeur, à Autun.

KAREIS, Professeur, à Vienne (Autriche).
KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine au 121e de ligne, à Saint-Étienne.
KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).
KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
KUHN, Curé à Nagy-Szent, Miklos Comit Toront (Hongrie).
KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).
KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, à Bordeaux.
KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 6, rue Cassini.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (Comte **de**), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.
LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
LALANDE, Libraire, à Brives.
LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue St-Ambroise, à Melun.
LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMANSKY, Professeur à l'Université, 14, rue Mochowaia, à Saint-Pétersbourg (Russie).
LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).
LAMY (**Gaspard**), 52, Grande-Rue, à Issy-sur-Seine.
LANGLADE, Ingénieur civil, 7, rue de Constantinople.
LAPLAICHE (**Alexandre**), Commissaire de surveillance administrative des Chemins de fer, à Besançon.
LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.
LARTIGUE, Directeur de la Société générale des téléphones, 66, rue Neuve-des-Petits-Champs.
LATCHINOW, Prof. à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).
LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée de Nancy.
LAW (**Arthur B.**), hôtel de Nantes, à Bordeaux.
LAWTON (**George Fleetwood**), Électricien de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.
LE BLANC (**Félix**), Professeur à l'École Centrale, 103, avenue de Villiers.
LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 46, boulevard Magenta.
LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur de Physique au Collège de Valognes.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 30, rue Gay-Lussac.
LE CHATELIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 7, rue Nicole.
LECLERC, à Margny-les-Compiègne (Oise).
LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), Correspondant de l'Institut, à Cognac.

Digitized by Google

MM.

LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.
LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.
LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.
LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.
LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.
LESCHI, Professeur au Collège d'Ajaccio (Corse).
LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
LÉVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Troyes.
LIBERT (**C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.
LIPPMANN, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 45, rue Claude-Bernard.
LISBONNE (**Fernand**), Inspecteur de la Compagnie générale transatlantique, 73, boulevard Magenta.
LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).
LOIR, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Lyon.
LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), R. Liceo Marco Polo, Venezia (Italie).
LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.
LVOFF (**Th.**), Secrétaire de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MACÉ DE LÉPINAY, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, à Marseille.
MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).
MAGNE, Inspecteur des lignes télégraphiques, 34, avenue de Villiers.
MAISONOBE, Lieutenant d'Artillerie, à Avignon.
MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.
MANEUVRIER, Agrégé, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.
MANGIN, Colonel du Génie, 34, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée Fontanes, 52, rue Lemercier.
MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.
MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
MASSE, Professeur, 17, rue de Chevreuse, à Issy-sur-Seine.
MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.
MAUMENÉ, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue Claude-Bernard.

Digitized by Google

MM.

MEAUX (de), Chef de Bureau au Ministère des Postes et Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 17, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.

MÉNIER (Henri), 5, avenue Van-Dyck.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique.

MÉRITENS (de), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

MERSANNE (de), Ingénieur civil, 82, boulevard Arago.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, 12, rue Ordener.

MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).

MEURIEN, Pharmacien, à Lille.

MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MOITESSIER (Albert), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONCEL (Comte **du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg, et à Lebisey (près Caen).

MONDOS (Robert), Ingénieur de la Compagnie générale d'éclairage électrique, 47[bis], boulevard Eugène (Neuilly-Paris).

MONTFERRIER (Abel de), Étudiant, 70, rue Blanche.

MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTEFIORE, 7, rue Christophe-Colomb.

MONTEIL (Silvain), Professeur au Collège de Vannes.

MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.

MORIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Poitiers.

MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques, 83, rue de Rennes.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.

MOSER (Dr James), 15, place Vendôme.

MOUCHOT, villa Bauer, à Alger (Algérie).

MONTHIERS (Maurice), adjoint au service des installations de l'Exposition internationale d'Électricité, 70, rue d'Amsterdam.

MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 29, boulevard Saint-Michel.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre, F. C. S.**), 29, Regency-Street, Westminster S. W., Londres.

MUIRHEAD (John), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (David), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 98, rue du Faubourg-Poissonnière.

NERVILLE (de), Élève-Ingénieur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NIAUDET, Ingénieur civil, 6, rue de Seine.

Digitized by Google

MM.

NOAILLON, Ingénieur civil, 25 *bis*, rue Gutenberg, à Boulogne-sur-Seine.

NOEL, Professeur à l'École Monge, 4, rue de l'Abbé-de-l'Épée.

ODINOT, Professeur au Collège d'Épinal.

OFFRET, Professeur au Lycée de Lille.

OGIER (**Jules**), 21, rue Jacob.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 73, boulevard Haussmann.

OYENS (**Gérard**), Ex-Commissaire des Pays-Bas à l'Exposition internationale d'Électricité, 137, avenue Malakoff.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PALMADE, Professeur au Lycée Henri IV, 70, rue Monge.

PALMADE, Lieutenant du Génie, à Montpellier.

PARAYRE (l'Abbé), Licencié ès Sciences physiques, 74, rue de Vaugirard.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASSOT (Dr), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PERROUX, Professeur au Lycée St-Louis, 5, place Sorbonne.

PHILIBERT, attaché au Ministère des postes et des télégraphes, à Alençon.

PHILIPPART (**Simon**), Ingénieur, 81, boulevard Voltaire.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 43, rue Delambre.

PINEL (**Charles-Louis**), Ingénieur-mécanicien, 26, rue Méridienne, à Rouen.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATEAU, Membre de l'Académie royale des Sciences, 15, place du Casino, à Gand (Belgique).

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POINCARÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

Digitized by Google

MM.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD (Jules), Ingénieur des constructions navales, professeur à l'École d'application du Génie maritime, à Cherbourg.

PONSELLE (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

POPP (Victor), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 5, rue d'Argenteuil.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSSIN (Alexandre), Ingénieur manufacturier, à Elbeuf.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'instruments d'Optique, 1, rue Bonaparte.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUCHEU, Professeur au Collège de Béziers.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 59, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RANQUE (Paul), Étudiant en Médecine, 9, rue Champollion.

RAULX, Commis principal des télégraphes, à Bourges.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYNAUD, Ingénieur des Télégraphes, 60, boulevard Saint-Germain.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RÉGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie à la Sorbonne.

RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

REY (Casimir), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (Xavier), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 39, rue de Moscou.

RIBAN (Joseph), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des hautes études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Administrateur délégué de la Société Générale des Téléphones, 4, rue d'Aboukir.

RICHET (Th.), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 5, rue Bonaparte.

RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.

RIVIÈRE, Préparateur agrégé à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

ROBIN (Ch.), Directeur de l'École de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

RODDE (Léon), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (Emmanuel), 42, avenue Gabriel.

ROGER (Albert), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

ROGNETTA (F.-B.), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

Digitized by Google

MM.

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROLLAND (**E.**), Membre de l'Institut, Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

ROMANET, ancien Élève de l'École des Mines, à Bovelles, par Picquigny (Somme).

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, 23, rue Lepelotier.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route Saint-Leu, a Enghien.

ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

ROUSSE, Professeur au Lycée, 23, rue Neuve, à Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

SALET, Maître de conférences de Chimie à la Sorbonne, 120, boulevard Saint-Germain.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 4, rue des Fossés-Saint-Jacques.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 37, rue Rodier.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (**Henri**), Commis principal des Télégraphes, 2, rue de l'École-Normale, à Évreux.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, 8, place Vendôme.

SEBERT, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, Ancien Recteur, 70, boulevard Saint-Michel.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 87, rue du Bac.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

SIMOUTRE (l'Abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Collège Rollin, 106, rue de Rennes.

SLOUGINOFF (**Nicolas**), Privat-docent de Physique à l'Université, 11, rue Vendenskaïa, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SOLIGNCAC, Ingénieur, 208, rue Saint-Maur.

Digitized by Google

MM.

SOMZÉE, Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (**W.**), Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, à Marseille.

STREET, Ingénieur, 27, rue Tronchet.

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Attaché au Bureau central météorologique, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

TERNANT, Représentant de l'Eastern Telegraph C°, 62, boul. de Longchamp, à Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.

THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.

THIERCELIN, Élève à l'École Centrale, 43, rue Madame.

THOLLON, à l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).

THOMSON (**Silvanus-P.**), Professeur à University College, Bristol (Angleterre).

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THYRION, Professeur au Collège de Fontainebleau.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TOMMASI (**Donato**), Professeur à l'Université de Florence (Italie).

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (le D^r^), 4, rue de Hanovre.

TROTIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, 34, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

TURIÈRE, Professeur au Collège de Bédarieux.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ BENONI, Négociant, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VAN DEN KERCHOVE, Sénateur, à Gand (Belgique).

Digitized by Google

MM.

VAN DER MENSBRUGGHE (Gustave-Léonard), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VAUCHERET, Lieutenant-colonel d'Artillerie, Professeur à l'École supérieure de guerre, 70, boulevard du Montparnasse.

VILLIERS (Antoine), Chef des travaux chimiques à l'École de Pharmacie, 125, rue Notre-Dame-des-Champs.

VIMERCATI (G.), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

VOIGT, Professeur au Lycée de Lyon.

VOYS (A. de), Ex-Commissaire des Pays-Bas à l'Exposition internationale d'Électricité, 52, boulevard Malesherbes.

WAHA (de), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland place, Londres, W.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 19, rue Berthollet.

WEST (Émile), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WEYER, Ingénieur, 50, route d'Aubervilliers, à Pantin.

WIEDEMANN (Eilhard), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WITZ (Aimé), Ingénieur civil, 127, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 97, rue de Rennes.

XAMBEU, Principal du Collège de Saint-Sever (Landes).

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (J.-A.), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (Louis-L.), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

Janvier 1882.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Digitized by Google

Digitized by Google

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

7038 Paris Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

Tempéra

CORR

pour une é

TABLE

Différence des deux Thermomètres

Digitized by Google

Digitized by Google

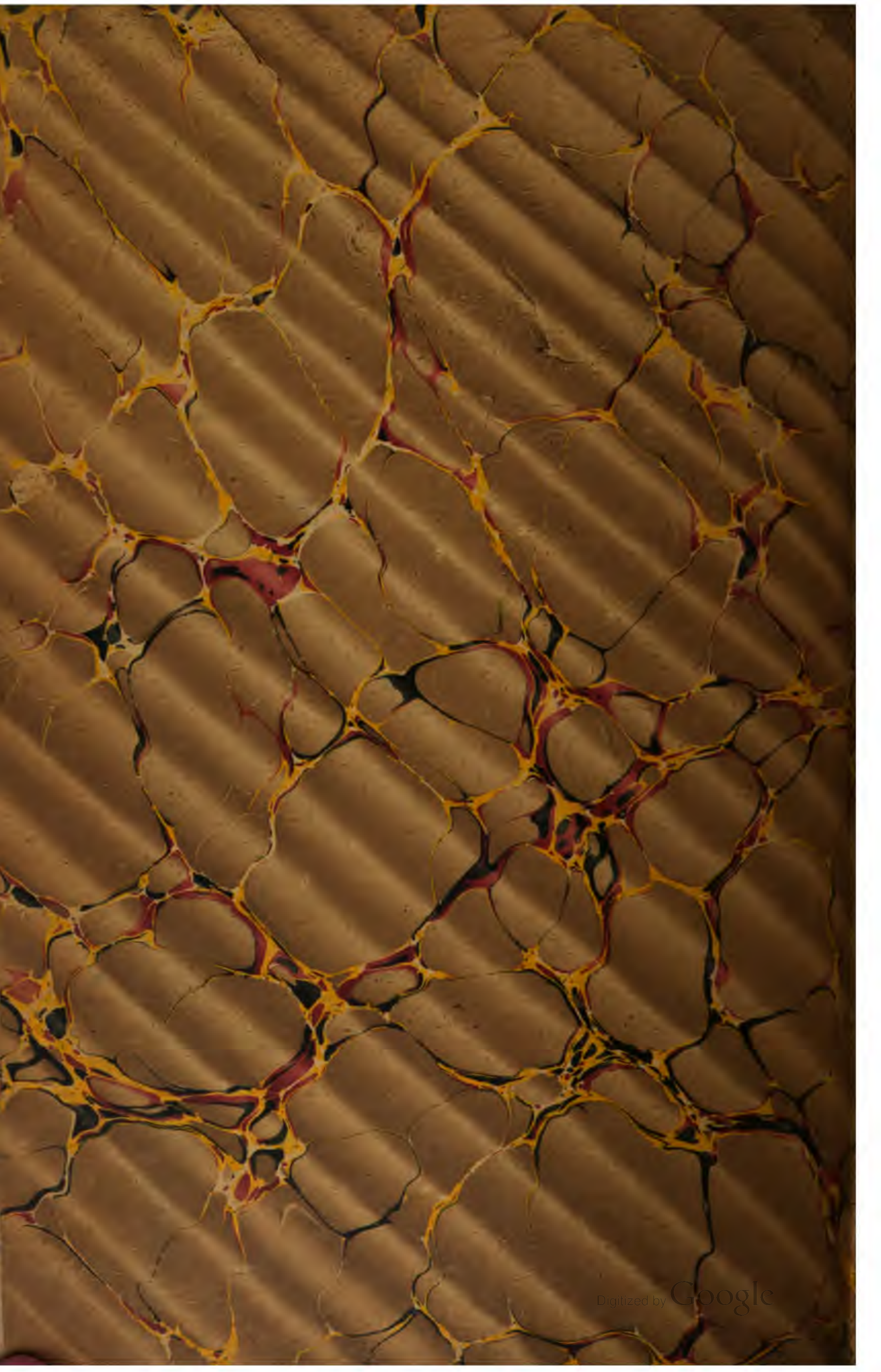
Digitized by Google

Digitized by Google

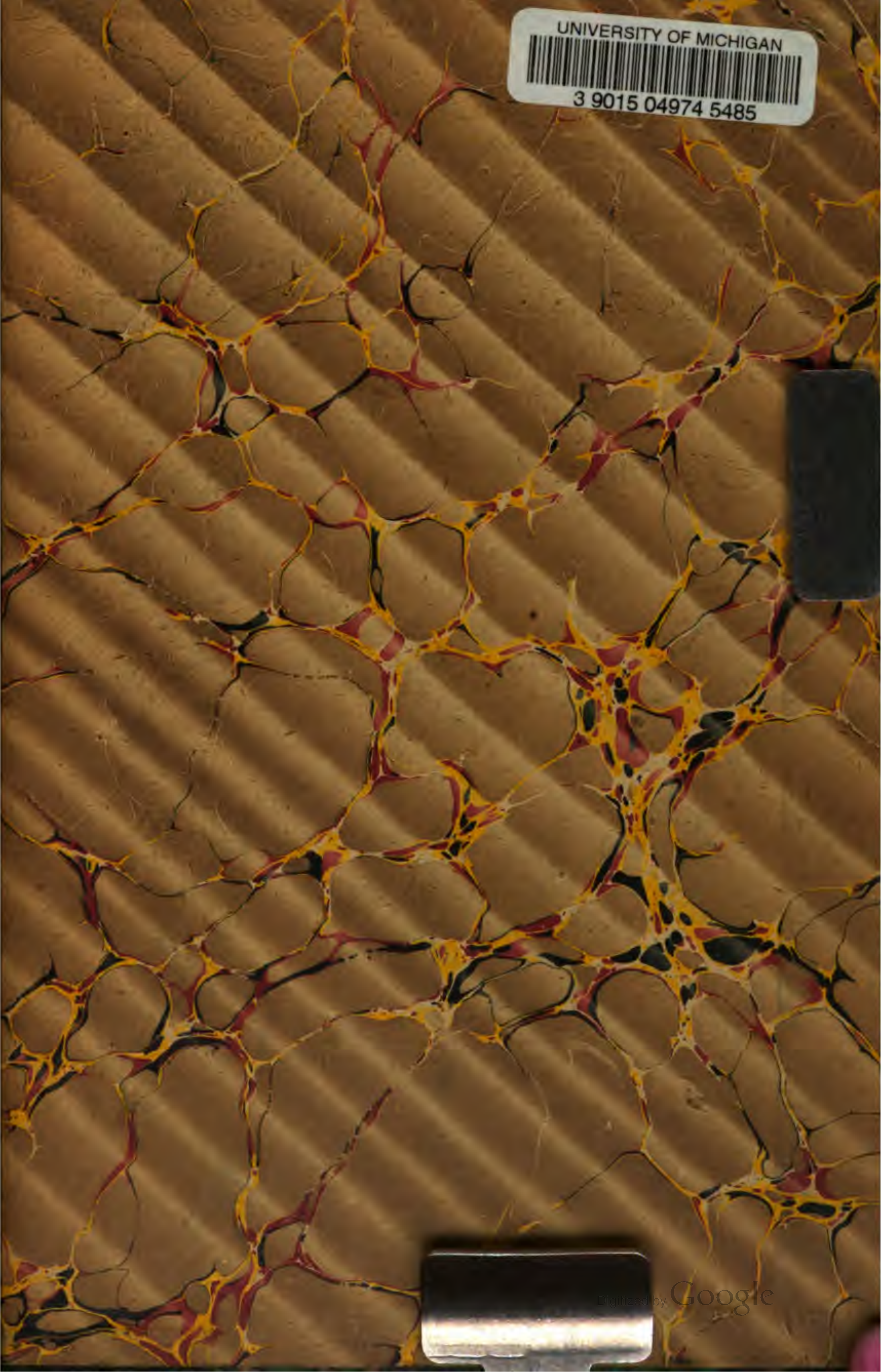
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 04974 5485
Digitized by Google

